

**Пояснювальна записка
до магістерської дисертації**

на тему: ”Удосконалення тепломасообмінних процесів у сушарці киплячого шару”

Київ - 2019 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»**

Факультет (інститут) _____ біотехнології і біотехніки _____
(повна назва)

Кафедра _____ біотехніки та інженерії _____
(повна назва)

Освітньо-кваліфікаційний рівень «магістр»

Напрямок підготовки _____ 13 «Механічна інженерія» _____
(код і назва)

Спеціальність _____ 133 «Галузеве машинобудування» _____
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

В.М.Мельник
(підпис)

В.М.Мельник
(ініціали, прізвище)

«23» жовтня 2019 р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Ходунько Олені Валеріївні**
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації: « Удосконалення тепломасообмінних процесів у сушарці киплячого шару»

науковий керівник дисертації Поводзинський Валдим Миколайович, к.т.н.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «05» листопада 2019 р. № 3839-с

2. Строк подання студентом дисертації 12 грудня 2019 р.

3. Об'єкт дослідження: Сушарка киплячого шару

4. Предмет дослідження: удосконалення тепломасообмінних процесів

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: провести огляд літератури за темою дисертації, теоретичне дослідження, математичне моделювання конструкції сушарки киплячого шару, практична реалізація розробленої конструкції, дослідження економічної доцільності виробництва і реалізації запропонованої конструкції сушарки.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу: Апаратурно-технологічна схема; Сушарка киплячого шару, складальне креслення; Сушильна камера,

складальне креслення; 3D-модель Сушарки киплячого шру– плакат 1; Днище, складальне креслення; Решітка; Штуцер; Ущільнення; Опора.

8. Дата видачі завдання 02.09.2019

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
	Огляд літератури	02.09.2019 – 05.11.2019	
	Теоретичні відомості	11.10.2019 – 19.11.2019	
	Математичне моделювання	17.11.2019 – 27.11.2019	
	Виконання розрахунків для практичної реалізації	12.11.2019 – 28.11.2019	
	Виконання складальних креслень	29.11.2019 – 04.12.2019	
	Розроблення стартапу	05.11.2019 – 03.12.2019	
	Оформлення ПЗ	09.09.2019 – 04.12.2019	
	Підготовка до захисту	05.12.2019 – 14.12.2019	

Студент

Науковий керівник дисертації


(підпис)


(підпис)

Ходунько О.В.
(ініціали, прізвище)

Поводзинський В.М.
(ініціали, прізвище)

Атестаційна робота освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр» на тему:
«Удосконалення тепломасообмінних процесів у сушарці киплячого шару» / НТУУ
«КПІ імені Ігоря Сікорського»; Керівник Поводзинський В.М. - К., 2019. - 92 с. іл. 19.
Виконавець Ходкнсько О.В. - Бібліогр.

Робота складається з переліку умовних позначень, вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку посилань і додатків. Повний обсяг роботи становить 92 сторінки, 19 рисунків, 9 таблиць і переліку посилань з 23 найменувань (на 2 сторінках). Графічна частина складається з Апаратурно-технологічної схеми; Сушарка киплячого шару, складальне креслення; Камера продуктова, складальне креслення; ЗБ-моделі Сушарка киплячого шару - плакат 1; Днище, складальне креслення; Решітка; Ущільнення надувного; Штуцер; Опори.

Сушка грануляту є однією з найважливіших ролей на фармацевтичних виробництвах. Сушарка киплячого шару використовується на стадії сушіння таблети, від якої залежить подальша якість продукції.

Об'єктом дослідження слугує сушарка киплячого шару.

Предметом дослідження є процес тепло- та масообміну, характеристики сушарки киплячого шару та її окремих конструктивних елементів.

Мета магістерської дисертації полягає у дослідженні процесів тепло- та масообміну та розробці конструкції сушарки киплячого шару.

Приведені математичні дослідження показало, що запропонована конструкція є ефективнішою за аналоги та може бути використана при конструюванні нового обладнання або вдосконаленні вже існуючого.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: СУШАРКА КИПЛЯЧОГО ШАРУ, ГРАНУЛЯЦІЯ, ПАРАЦЕТАМОЛ.

ANOTATION

Attestation work of educational qualification level "Master" on subject:

"Improvement of heat and mass transfer processes in the boiling fluidized layer dryer" / NTUU "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"; Head: Povodzinsky V.

M. - K., 2019. - 92 p. illus. 19. Executor: Khodunko O. V. - Bibliography.

The work consists of a list of symbols, introduction, four sections, conclusions, a list of references and applications. The total volume of work is 92 pages, 19 figures, 9 tables and a list of references of 23 titles (on 2 pages). The graphic part consists of the Equipment-technological scheme; Boiling fluidized layer dryer, assembly drawing; Output camera, assembly drawing; 3D models Boiling fluidized layer dryer - poster 1; Bottom, assembly drawing; Grille; Inflatable seals; Fitting; Supports.

Drying of the granulate is one of the most important processes in pharmaceutical industries. The boiling fluidized layer dryer is used at the stage of drying the pills mass, which depends on the further quality of production.

The object of study is a boiling fluidized layer dryer.

The subject of the study is the process of heat and mass transfer, the characteristics of the boiling fluidized layer dryer and its individual structural elements.

The purpose of the master's thesis is to study the processes of heat and mass transfer and to develop the design of a boiling fluidized layer dryer.

The above mathematical studies have shown that the proposed design is more efficient than analogues and can be used in the construction of new equipment or improvement of existing ones.

KEYWORDS: BOILING FLUIDIZED LAYER DRYER, GRANULATION, PARACETAMOL.

Зміст

Перелік скорочень та умовних позначень	8
ВСТУП.....	10
1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	11
1.1 .Сушка в киплячому шарі.....	11
1.2.....	
Ефективне рішення для контрольованої сушки гранул.....	12
1.3. Типи і конструкції сушильних установок, особливості їх роботи	13
1.4. Постановка задач дослідження.....	16
2. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ТЕПЛООБМІНУ У СУШАРЦІ	
КИПЛЯЧОГО ШАРУ.....	18
2.1. Моделювання сушарки киплячого шару	18
2.2. Умови однозначності математичної моделі.....	21
2.3. Постійна часу конвективного теплообміну між часткою та	
рідиною.....	26
2.4. Чисельний розв'язок математичної моделі процесу	
теплообміну	
упсевдозрідженному шарі	31
3. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРОБЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ СУШАРКИ	
КИПЛЯЧОГО ШАРУ.....	39
3.1 .Матеріальний баланс.....	39
3.2. Тепловий баланс.....	40
3.3. Гідродинамічний розрахунок апарату.....	43
3.3.1.....	
Параметри повітря на виході з сушильної камери.....	43
3.3.2. Робоча швидкість повітря.....	44
3.3.3. Діаметр апарату біля газорозподільної решітки.....	44
3.3.4. Висота киплячого шару.....	45
3.3.5. Перевірка умови виносу з апарату дрібних частинок.....	46
3.3.6. Перевірка умови псевдозрідження частинок	
максимального розміру	46
3.4. Гідравлічний розрахунок сушарки.....	48
3.4.1. Гідравлічний опір сушарки	

3.6.2. Розрахунок кінчного днища, навантаженого внутрішнім надлишковим тиском.....	51
3.6.3. Розрахунок плоскої кришки, навантаженої внутрішнім тиском.....	53
3.6.4. Перевірка розподілюючої решітки на міцність.....	54
3.6.5. Перевірка несучої спроможності апарату під дією опорних навантажень.....	55
4. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ	58
4.1. Резюме.....	58
4.2. Аналіз зовнішнього та внутрішнього середовища.....	61
4.2.1. Аналіз потенційного ринку збуту.....	63
4.2.2. Місце розробки у системі цінностей за методом Бостонської матриці...	64
4.3. Ключові фактори успіху проекту.....	66
4.3.1. Анкета для споживачів.....	67
4.4.Оцінка ринкових позицій інноваційної розробки.....	69
4.4.1. Анкета.....	69
4.4.2. Договір на виконання науково-дослідної роботи.....	72
4.4.3. Джерела фінансування НДР.....	74
4.4.4. Розрахунок техніко-економічних показників.....	75
4.4.5. Розрахунок ціни інноваційної пропозиції.....	76
4.5.Оцінка ризиків та страхування розробок: перелік ризиків інноваційної розробки, ймовірність їх настання, вплив на очікуваний результат, методи страхування.....	78
ВИСНОВОК.....	82
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	83
ДОДАТОК А.	
ДОДАТОК Б. Специфікації	
ДОДАТОК В. Творчий доробок	

Перелік умовних позначень, скорочень і термінів

F_i – i -та складова зовнішньої сили, що діє на одиницю маси газу;

f_{pi}^s – i -та складова зовнішньої сили, діюча на частинки сорту s ;

P – статичний тиск газу;

t_m – температура матеріалу;

ε^* – критерій фазового перетворення;

σ^* – термоградієнтний коефіцієнт перенесення вологи;

a_m – коефіцієнт температуропровідності;

r_c – питома теплота фазового переходу;

r – поточний радіус частинки;

c_q – теплоємність частинки;

k – коефіцієнт потенціалопровідності.

$t_{(r,t)}$ – температура частинки в поточному її радіусі в даний момент часу;

$t_{м.поч}$ – початкова температура частинки, яку піддають сушінню;

$t_{суш.поч}$ – початкова температура сушильного агента, °C;

$U_{м.поч}$ – початкова вологість частинки, яку піддають сушінню;

$U_{(r,t)}$ – вологість частинки в поточному її радіусі в даний момент часу;

$U_{суш.поч}$ – початкова вологість сушильного агента;

R – характерний розмір дисперсного матеріалу;

Fo_t – критерій Фур'є для теплообміну під час сушіння;

Fo_U – критерій Фур'є для масообміну під час сушіння;

G_n – продуктивність сушарки по вологому матеріалу;

G_x – продуктивність сушарки по сухому матеріалу;

W – кількість випареної вологи.

G_b – витратна концентрація (як відношення масових витрат твердої та газової фаз);

U_n – поточна вологість матеріалу;

t_n – поточна температура матеріалу;

$t_{суш}$ – поточна температура сушильного агента;

β – коефіцієнт масовіддачі;

$F_{\text{ш}}$ – питома поверхня частинок в шарі $F_{\text{ш}} = \frac{6(1-\varepsilon)}{d_m}$;

τ_c – час сушіння матеріалу.

ВСТУП

Кожен з нас, в своєму житті, хоча б раз стикався з головним болем чи хворобою. Тому в наш час, ми не можемо уявити своє життя без ліків. Але мало хто, задумувався про те як саме проходить процес їх виготовлення.

Серед всіх процесів, від початку і до готової таблетки, одним із найважливіших є, саме сушка вологого грануляту. Одним з найбільш ефективних і продуктивних методів сушіння грануляту таблетмаси є оброблення у газодинамічному киплячому шарі, що створюється вхідним потоком повітря, потрібної вологості. Цей метод реалізується у відповідних апаратах для сушки в киплячому шарі. Такий метод є найбільш оптимальним завдяки рівномірності сушки грануляту та інтенсивності масообміну в киплячому шарі. Завдяки інтенсивному перемішуванню гранул, практично вирівнюється поле температур, вилучається можливість значних локальних перегрівів і зв'язаних з цим порушень в проходженні ряду технологічних процесів. Також, саме процес сушіння грануляту, впливає на подальшу якість готової продукції.

Тепломасообмінні процеси в сушарках киплячого шару, відбуваються за рахунок різниці концентрацій вологого грануляту, та гріючого агенту (очищеного повітря). Незважаючи на те, що у киплячому шарі інтенсивність масопередачі вища, ніж у нерухомому шарі, використання тепломасообмінних процесів у киплячому шарі пов'язано з рядом проблем. Безпосередньо процес сушіння у киплячому шарі має ряд недоліків. Як відомо, при сушінні матеріалів \ киплячому шарі простежується стирання матеріалу і винесення дрібних частинок, виникає необхідність у встановленні пилоочисної апаратури, тим самим виникає недолік в складності конструкції.

1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ 1.1

Сушка в киплячому шарі

Гранулювання в киплячому шарі - це процес утворення гранул шляхом розпилення сполучного розчину на псевдозріджений шар порошку.

Процесу гранулювання у псевдозрідженому шарі приділяється особлива увага у фармацевтичній промисловості. Техніка псевдоожиження була відкрита в 1942 році. Обробка фармацевтичних продуктів в псевдозрідженому шарі вперше була описана фармацевтом Дале Ервін Вюрстером (Dr. Dale Erwin Wurster), який застосував техніку зрідження для нанесення плівкового покриття на таблетки. У 1960 році, використовуючи технологію псевдоожиження, він сформулював основні принципи підготовки таблетної маси в процесі виробництва твердих ГЛЗ.

На сьогоднішній день можна стверджувати, що гранули, оброблені в псевдозрідженому шарі технологією верхнього розпилення, дрібніше і мають більш високу плинність і однорідність. У порівнянні з матеріалами, обробленими традиційним вологим гранулюванням, ми отримуємо таблетки з більш високою розпад.

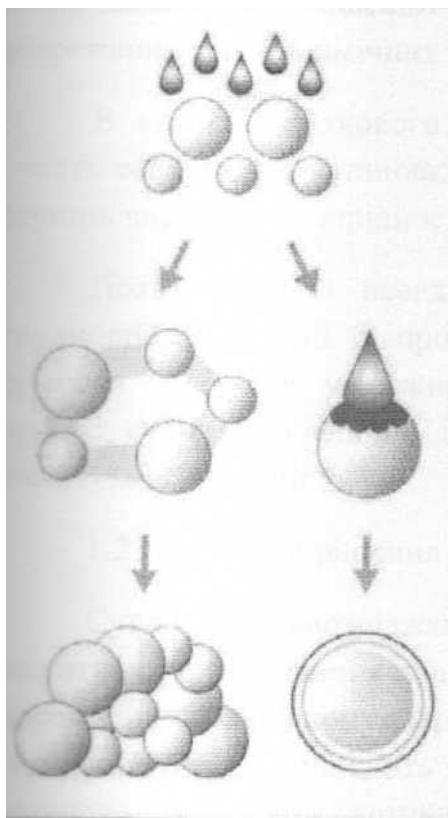


Рисунок 1.1. процесі сушки

Сушарка з псевдозрідженим шаром застосовується для екстракції зайвої вологи з порошкоподібного лікарського сировини. Технологія дегідратації із застосуванням цього типу обладнання - одна з найпоширеніших у фармацевтичній промисловості.

Препарати, що знаходяться в подрібненому вигляді, вимагають особливого підходу до їх обробці, оскільки володіють високою термічною чутливістю і можуть втратити лікувальні властивості в процесі звичайної сушки. Зневоднення порошкових сумішей в псевдозрідженому стані логічно відповідає їх фізичну структуру і реакцій на нагрівання. Цей метод довів свою надійність і ефективність в виробничих умовах.

Процес зазвичай здійснюється в кілька етапів. Після фільтрації і попереднього підігріву вологий матеріал надходить в перший відсік з псевдозрідженим шаром. За рахунок особливостей конструкції він вступає в дуже тісне зіткнення з гарячим повітрям, що генерується вбудованим нагрівачем. Така особливість підвищує коефіцієнт теплопередачі і запобігає руйнуванню чутливих препаратів.

В результаті проходження повітряного потоку крізь матеріал його частки швидко переміщаються відносно один одного, він стає вільним (переходить в псевдозріджений стан), після чого проходить ще кілька стадій просушування при безперервному або періодичному перемішуванні. Обтікання повітрям з усіх боків забезпечує рівномірну дегідратацію, а підтримка помірної температури - збереження всіх біохімічних властивостей.

В якості додаткового обладнання в сушильній процесі також беруть участь сепараційні установки і пиловловлювачі, що забезпечують необхідний ступінь чистоти і однорідності одержуваного продукту.

Поява камер з псевдозрідженим шаром допомогло подолати багато труднощів, пов'язані з процесом дегідратації термолабільних порошкових сумішей. Сьогодні у кожного фармпроизводителя є можливість провести процес сушіння дбайливо і ефективно, повністю зберігши хімічний склад лікарської сировини.

1.2 Ефективне рішення для контрольованої сушки гранул

Сушка в псевдозрідженому шарі - оптимальний спосіб контрольованої, щадить і рівномірної сушки грануляту. Завдяки інтенсивному тепло / масообміну в киплячому шарі, процес йде особливо ефективно і швидко. Дана технологія добре підходить для завершальній сушки гранулятов, отриманих розпиленням, а також екструдатів з низькою залишковою вологістю.

Сушка в псевдозрідженому шарі застосовується у всіх галузях, переробних порошкові матеріали. У фармацевтичній промисловості цей інноваційний метод вже давно замінив сушку в поличних сушарках, що вимагає значних витрат часу. Адже сушка в псевдозрідженому шарі йде приблизно в

двадцять разів швидше! Крім того, в псевдозрідженому шарі створюються більш контрольовані і рівномірні умови в порівнянні з поличними сушарками.

Незалежно від технології, по якій був виготовлений гранулят: - в установці псевдозрідженого шару або обливання в змішувачі в періодичному або безперервному режимі - сушка в псевдозрідженому шарі повинна йти в умовах термодинамічної рівноваги. Температуру припливного повітря слід підібрати таким чином, щоб з поверхні гранул випаровувалося рівно ту кількість вологи, яке надходить по капілярах зсередини. При занадто високій температурі надходить в зону сушіння повітря на поверхні гранул може утворитися скоринка, яка ускладнює або зовсім припиняє перенесення вологи з внутрішніх шарів гранул назовні. В результаті процес сушіння не прискорюється, а сповільнюється.

При використанні технології розпилення для грануляції, агломерації і нанесення покриттів необхідно контролювати процес таким чином, щоб не тільки знизити вологість до заданого рівня, але і забезпечити безперервність сушки в ході розпилення. Занадто висока температура повітря, що поступає може перешкодити утворенню рідинних містків, зробити структуру гранул нестійкою, а плівкове покриття - нерівномірним.

При правильному застосуванні сушка в псевдозрідженому шарі стане ефективним рішенням для делікатної і рівномірної обробки вашої продукції.

1.3 Типи і конструкції сушильних установок, особливості їх роботи

Сушарки киплячого шару поділяються на такі як:

- Сушильна шафа
- Змішувач-сушарка (сушарка порційна)
- Сушарка-гранулятор

Сушильна шафа

Сушильна шафа гарячим повітрям є сушильної піччю з циркуляцією гарячого повітря, яка застосовується для нагріву, кристалізації, сушіння

первинного матеріалу у фармацевтичній, хімічній, харчовій промисловості і т.д.

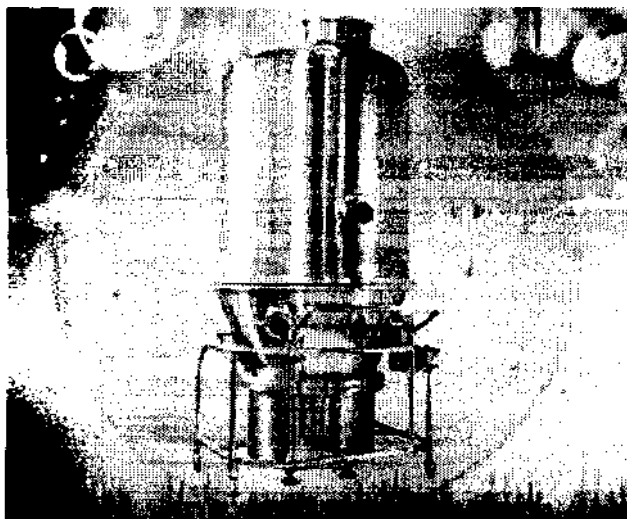


Рисунок 1.2. Сушка кипящего шару

Сушки з кипячим шаром призначені для безперервної обробки порошків, гранул, агломератів і пеллет. Розмір оброблюваних частинок - від 50 до 5000 мікрон. Для псевдоожиження і успішної сушки дуже дрібнодисперсних легких порошків може знадобитися вібрація. Сушарки відрізняються високою гігієнічністю, стійкістю до вибухового тиску, саморозвантаження і наявністю систем автоматичного чищення.

Робочий принцип - Високоєфективна сушарка з псевдозрідженим шаром

Після очищення і нагрівання, повітря надходить з нижньої частини вентилятора і проходить через сито первинного матеріалу. У камері, відбувається швидка сушка первинного матеріалу.

Технічні характеристики

Наименование			Тип						
Первичный материал		кг	60	100	120	150	200	300	500
Вентилятор	Объем воздуха	m ³ /h	2361	3488	4000	4901	6032	7800	10800
	Давление воздуха	mmH ₂ O	594	533	533	679	787	950	950
	Мощность	kw	7.5	11	15	18.5	22	30	45
Мощность перемешивания		kw	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.75	0.75
Скорость перемешивания		rpm	11						
Расход пара		kg/h	141	170	170	240	282	366	451
Время процесса		мин	15-30						
Высота машины	Квадратная	mm	2750	2850	2850	2900	3100	3300	3650
	Круглая	mm	2700	2900	2900	2900	3100	3600	3850

Сушарка порційна компанії «ФармМедОборудование»

Призначена для змішування і сушіння в псевдозрідженому шарі сипучих матеріалів і пігулок гранулятов, що не містять органічних розчинників, пірофорних матеріалів і вибухових речовин в хіміко-фармацевтичної, хімічної, харчової, і інших галузях промисловості.

Це єдиний змішувач забезпечує абсолютну змішання з гарантією що в кожному обсязі суміші будуть рівномірно розподілені всі компоненти входять в суміш.

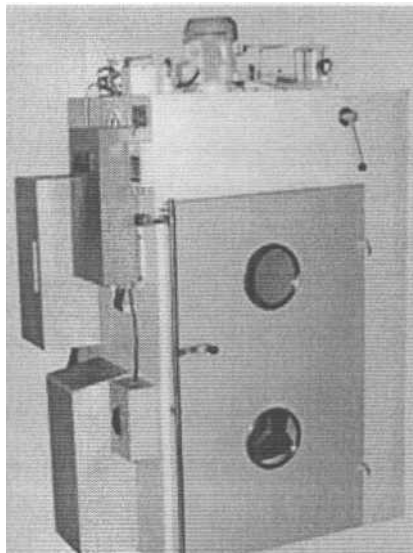


Рисунок 1.3. Сушарка порційна компанії

«ФармМедОборудование» Технічні характеристики

Наименование		СП-60М	СП-30М	СП-200	
Разовая загрузка		кг	60	30	200
Время непрерывной сушки		мин	120	120	120
Температура сушки		°С	20-80	20-80	20-80
Потребляемая мощность, не более	с паровым калорифером	кВт	11	4	20
	с электрическим калорифером		80	30	140
Напряжение питания, частотой		Гц	50		
Давление пара в калорифере		МПа	0,2-0,3		
Давление сжатого воздуха, не менее		МПа	0,3		
Производительность вентилятора		м3/ч	2500	1400	6000
Масса, не более		кг	2000	1200	2500

Суш арка-гранулятор компанії «ФармМедОборудование»

Призначена для змішування, гранулювання, сушіння, опудривання, багатокомпонентних таблетсмесей в псевдозрідженому шарі що не містять органічних розчинників, пірофорних матеріалів і вибухових речовин в хіміко-бармацевтичної, хімічної, харчової та інших галузях промисловості.

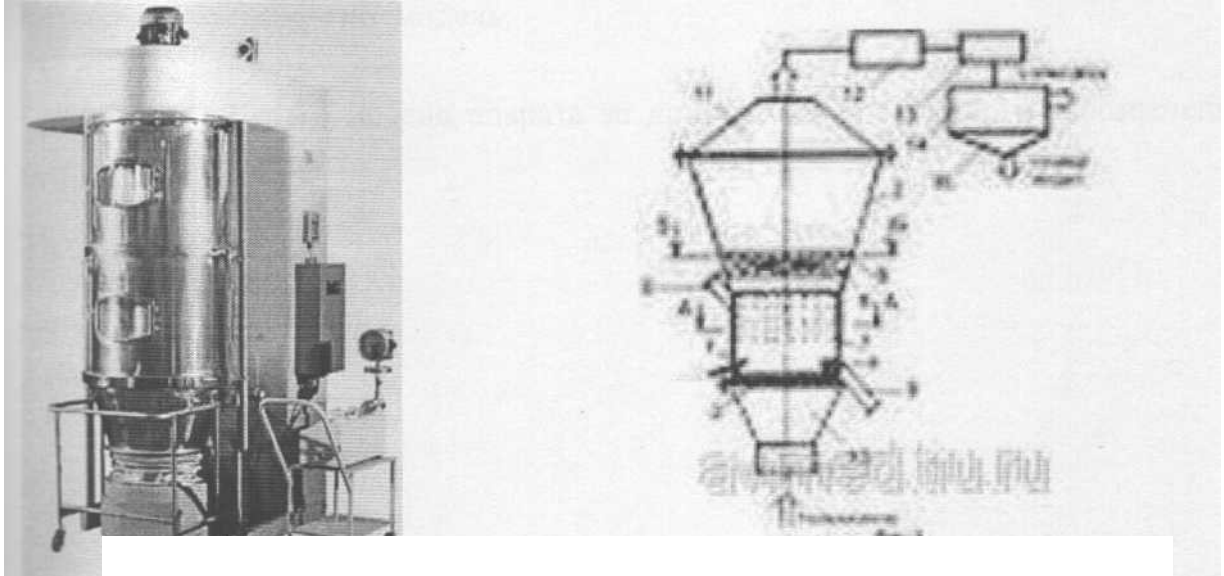


Рисунок 1.4. Сушарка-гранулятор компанії «ФармМедОборудование»

Технічні характеристики

Найменование		СГ-60М	СГ-30М	СГ-100
Разовая загрузка	кг	60	30	100
Время непрерывной сушки	мин	120	120	120
Температура сушки	°С	20-80	20-80	20-80
Потребляемая мощность, не более	с паровым калорифером	11	4	20
	с электрическим калорифером	80	34	110
Напряжение питания, частотой	Гц	50		
Давление пара в калорифере	МПа	0,2-0,3		
Давление сжатого воздуха, не менее	МПа	0,4		
Производительность вентилятора	м3/ч	2500	1400	6000
Масса, не более	кг	2500	1400	2500

1.4 Постановка задач дослідження

Мета роботи -вивчення та удосконавлення тепломаообмінних процесів у сушарці киплячого шару рідини,що висушує гранули парацетамолу.

Для досягнення поставленої мети було виділено наступні задачі:

- провести детальний та розширений огляд існуючих видів сушарок та способів інтенсифікації процесів у них;
- на основі знайдених конструкцій обрати найоптимальнішу геометрію;
- створити математичну модель;
- створити об'ємну модель апарата за допомогою програмного забезпечення Solid Works;

2. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ТЕПЛООБМІНУ У СУШАРЦІ КИПЛЯЧОГО ШАРУ

Процеси сушки проходять в дисперсіях. В яких дисперсним середовищем теплоносій, а дисперсною фазою є тверді сферичні частки - гранули.

Об'єкт досліджень. Об'єктом дослідження сушарка киплячого шару.

Мета і задачі досліджень. Мета даної роботи полягає у розробці математичної моделі для оптимізації процесу сушіння у сушарці киплячого шару.

Нам необхідно виконати такі задачі:

1. Розробити математичну моделювання сушарки на основі умов однозначності.
2. Дослідити постійну часу між частинкою та теплоносієм.
3. Провести порівняння отриманих результатів.

2.1 Моделювання сушарки киплячого шару

Математична модель процесу включає в себе умови однозначності і енергію руху, сформульовані для окремих компонентів середовища, враховуючи взаємодію компонентів в ньому. В загальних рівняннях моделі описуються зв'язки загального руху дисперсії з рухом компонентів, яку вони складають, а також взаємозв'язок властивостей переносу окремих компонентів.

Рух дисперсії в загальному випадку описується :

$$\begin{aligned} \frac{\rho dU_i}{dt} + \sum_s \frac{K_m^s \rho_p^s dU_{pi}^s}{dt_p^s} \\ = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} [\mu_{fm} \Delta_{ji} + \mu_{fm2} \theta \delta_{ji}] + \frac{\partial}{\partial x_i} \sum_s K_m^s [\mu_{fm}^s (\Delta_p^s)_{ji} \\ + \mu_{pm2}^s \theta_p^s \delta_{ji}] + \rho F_i + \sum_s \frac{K_m^s \rho_p^s f_{pi}^s}{m^s} \end{aligned} \quad (2.1)$$

де F_i - і-та складова зовнішньої сили, що діє на одиницю маси газу;

f_{pi}^s – і-та складова зовнішньої сили, діюча на частинки сорту s ;

P – статичний тиск газу;

μ_{fm} – в'язкість суцільної фази;

μ_{fm2} – включає другу в'язкість суцільної фази;

$\mu_{pm}^{(s)}$ – в'язкість дискретної фази s ;

ρ_p^s – густина дискретної фази s ;

ρ – густина безперервної фази;

U_i – і-та складова швидкості;

x_i – і-та координата;

K_m^s – “ефективність” зумовлена додатковою залежністю коефіцієнта опору від концентрації частинок.

У рівнянні прийняті такі позначення:

$$\frac{d}{dt_p^s} = \frac{\partial}{\partial t_p} + U_i \frac{\partial}{\partial x_i}$$

$$\frac{d}{dt_p^s} = \frac{\partial}{\partial t_p} + U_{pj}^s \frac{\partial}{\partial x_i}$$

Швидкість деформації зсуву дисперсії

$$(\Delta)_{ji} = \frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i}$$

Швидкість деформації подовження

$$\theta = \frac{\partial U_k}{\partial x_k}$$

Символ Кронекера $\delta_{ij} = 0$ при $j \neq i$ і $\delta_{ij} = 1$ при $i = j$.

В апараті киплячого шару двофазна система яка складається суцільної дискретної фази.

Так, як дискретна фаза не виявляє суттєвого впливу на статичний тиск системи, то для дискретної фази до компоненту S запишемо:

$$\begin{aligned} \frac{\rho dU_i}{dt} = & - \left[1 - \sum_s K_m^s \frac{\rho_p^s}{\bar{p}_p^s} \right] \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} [\mu_{fm} \Delta_{ji} + \mu_{fm2} \theta \delta_{ji}] + \rho F_i \\ & - \frac{1}{2} \bar{p} \sum_s K_m^s \frac{\rho_p^s}{\bar{p}_p^s} \frac{d}{dt_p} (U_i - U_{pi}) \\ & - \frac{9}{2\sqrt{\pi a_s}} \sqrt{\mu \rho} \sum_s K_m^s \frac{\rho_p^s}{\bar{p}_p^s} \int_{t_0}^{t_p^s} \left[\frac{d}{dt} (U_i - U_{pi}^s) (t_p^s - \tau)^{-\frac{1}{2}} d\tau \right] \\ & - \sum_s K_m^s \rho_m^s F^s (U_i - U_{pi}^s) \end{aligned}$$

Для розв'язання рівняння руху дискретної і суцільної фази сформулюємо умови однозначності.

Рівняння енергії багатофазної системи, яка складається з q компонентів включає в себе співвідношення, що характеризує обмін енергії, як обмін енергії між твердими частинками.

| Рівняння енергії для компоненти a системи має вигляд

$$\begin{aligned} \frac{\rho^q dE^q}{dt^q} = & \frac{\partial}{\partial x_i} U_j^q [-P^q \delta_{ji} + \mu_{m2}^q \Delta_{ji}^q + \mu_{m2}^q \theta^q \delta_{ji}] + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\lambda_m^q \frac{\partial T^q}{\partial x_i} \right] + F_e^q \\ & + c^q \rho^q \sum_p G^{qp} (T^p - T^q) \end{aligned}$$

де ρ^q – густина компоненти q;

E^q – внутрішня енергія компоненти q;

T^p – температура компоненти p;

T^q – температура компоненти q.

Рівняння енергії для дискретної фази (Б) включає співвідношення, яке характеризує обмін енергії між твердими частинками і теплоносієм, а також іншими твердими частинками

$$\rho_p^s \frac{d}{dt_p} [c_p^s T_p^s] = \frac{\partial}{\partial x_i} \lambda_{pm}^s \frac{\partial T_p^s}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} U_{pi}^s [\mu_{pm}^s (\Delta_p^s)_{ji} + \mu_{pm2} \theta_p^s \delta_{ji}] + F_{pE}^s + c_p^s \rho_p^s G^s (T - T_p^s) + c_p^s \rho_p^s \sum G_p^{sr} (T_p^r - T_p^s)$$

Рівняння енергії для безперервної фази

$$\rho \frac{d}{dt} [c_p T] = \frac{\partial}{\partial x_i} \lambda_m \frac{\partial T}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} U_i [\mu_{fm} \Delta_{ji} + \mu_{fm2} \theta \delta_{ji}] + F_E$$

де, F_E – джерело теплоти;

λ_m – коефіцієнт теплопровідності суцільної фази;

λ_p – коефіцієнт теплопровідності дискретної фази;

c_f – питома теплоємність суцільної фази при постійному тиску

c_p^s – питома теплоємність дискретної фази при постійному тиску

$G^{(sr)}$ – постійна часу процесу теплообміну між множиною частинок сорту **(r)** і множиною частинок сорту **(s)**

$$\frac{\partial}{\partial x_i} U_{pi}^s [\mu_{pm}^s (\Delta_p^s)_{ji} + \mu_{pm2} \theta_p^s \delta_{ji}]$$

дисипативна складова рівняння енергії:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} U_i [\mu_{fm} \Delta_{ji} + \mu_{fm2} \theta \delta_{ji}]$$

Рівняння руху і енергії враховує загальний рух, теплообмін та силові поля. Для розв'язання даних рівнянь необхідно сформулювати умови однозначності.

2.2 Умови однозначності математичної моделі

Процес гранулювання в псевдозрідженому шарі протікає у апаратах прямокутної форми. Для рішення задачі доцільно вибрати прямокутну систему координат.

Для описання процесів гідродинаміки і теплообміну необхідно визначити властивості твердої та газової фази і суміші, а також коефіцієнти переносу.

Якщо позначити Y^s – об'ємна частка частинок сорту s , густина множини частинок (s) однакового розміру і з однієї і тієї ж самої речовини – $\bar{\rho}_p^s$, то ці величини пов'язані співвідношенням:

$$\rho_p^s = Y^s \bar{\rho}_p^s$$

Густина множини твердих частинок:

$$\rho_p = \sum_s \rho_p^s$$

Густина теплоносія $\bar{\rho}$ і уявна густина газової фази зв'язані рівнянням:

$$\rho = \bar{\rho} \left[1 - \sum_s \frac{\rho_p^s}{\bar{\rho}_p^s} \right] = \bar{\rho} \left[1 - \frac{\rho_p}{\bar{\rho}_p} \right]$$

де, $\frac{\rho_p}{\bar{\rho}_p}$ – об'ємна частка твердих частинок всієї дискретної фази.

Густина суміші визначається по рівнянню:

$$\rho_m = \rho + \sum_s \rho_p^s$$

Для визначення в'язкості компоненту q в суміші μ_m^q використаємо рівняння:

$$\begin{aligned} \mu_m^q \Delta_{ji}^q = & \mu_m \frac{\rho^q}{\rho_m} \Delta_{ji}^q + \frac{\mu_m}{\rho_m} \left[(U_i^q - U_{mi}) \frac{\partial \rho^q}{\partial x_i} + (U_j^q - U_{mj}) \frac{\partial \rho^q}{\partial x_j} \right] \\ & + \rho^q (U_i^q - U_{mi})(U_j^q - U_{mj}) \end{aligned}$$

$$\mu_{m2}^q \theta^q = \mu_{m2} \frac{\rho^q}{\rho_m} \theta^q + \frac{\mu_{m2}}{\rho_m} (U_k^q - U_{mk}) \frac{\partial \rho^q}{\partial x_k}$$

Для суміші з одним сортом частинок в'язкість можна визначити за допомогою рівняння:

$$\mu_{fm} \approx \left[1 - \frac{\rho_p}{\rho} \right] \mu_m$$

$$\mu_{pm} \approx \frac{\rho_p}{\rho} \mu_m$$

Уявна в'язкість множини частинок:

$$\mu_p^s = \frac{9}{4} Y^s \bar{\mu}$$

Коефіцієнт теплопровідності суміші:

$$\lambda_{fm} \approx \left[1 - \frac{\rho_p c_p}{\rho c_p} \right] \lambda_m$$

$$\lambda_{pm} \approx \frac{\rho_p c_p}{\rho c_p} \lambda_m$$

Постійна часу процесу взаємодії рідини з частинками:

$$F^s = \frac{3}{8} C_D \left(\frac{\bar{\rho}}{\rho_p} \right) \frac{\Delta U}{a_s}$$

де C_D - коефіцієнт опору при відносній швидкості ΔU ;

Для сферичної частинки в області дії закону Стокса:

$$F^s = \frac{9\mu}{2a_s^r \bar{\rho}_p^s}$$

Для частинок в псевдозрідженому шарі:

$$F^s = \frac{75}{2} \cdot \frac{1-E}{E^2} \cdot \frac{\bar{\mu}}{\bar{\rho}_p a_p^2} + \frac{1.75}{2E} \cdot \frac{\bar{\rho}}{\bar{\rho}_p} \cdot \frac{U_E}{a_r} S_r$$

Приймаймо, що сила опору внаслідок зіткнень частинок s з частинками r будемо позначати F^{sr} .

Постійна часу F^{sr} записується у вигляді:

$$F^{sr} = \frac{F_{psr}}{m_s |U_p^r - U_p^s|} \quad (2.2)$$

де m_s - маса часток сорта s

Частинки r рухаються відносно часток s зі

$$\Delta U_p^{sr} = |U_p^r - U_p^s| \quad (2.3)$$

Тоді силу, що діє на частинку s внаслідок зіткнення з частинками r , можна визначити за формулою:

$$\begin{aligned} F^{sr} &= \eta^{sr} n_p^r \pi (a_s - a_r)^2 \frac{m_s m_r}{m_s + m_r} \Delta U_p^{sr} |U_p^r - U_p^s| \\ &= \eta^{sr} \left[1 + \frac{m_r}{m_s} \right]^{-1} \rho_p^r \pi (a_s - a_r)^2 |U_p^r - U_p^s| \end{aligned} \quad (2.4)$$

Для частинок майже однакових розмірів. Постійна часу знаходиться за формулою:

$$F^{sr} = \frac{3}{4} \eta^{sr} \frac{\left(\sqrt{\frac{a_s}{a_r}} + \sqrt{\frac{a_r}{a_s}} \right)^2 \Delta U_p^{sr} \rho_p^r}{\sqrt{a_r a_s} \sqrt{\rho_p^s \rho_p^r} \left(\sqrt{\frac{m_r}{m_s}} + \sqrt{\frac{m_s}{m_r}} \right)} \quad (2.5)$$

У загальному

$$F^{sr} = \frac{\frac{3}{4} \eta^{sr} (a_s - a_r)^2 \Delta U_p^{sr} \rho_p^r}{a_s^3 \rho_{rp}^r \left[1 + \frac{m_r}{m_s} \right]}$$

(2.6)

В цих формулах η^{sr} - доля частинок r , що стикаються з частинками s .

Параметр η^{sr} визначається із співвідношення, яке можна записати у вигляді

$$\eta^{sr} = f(\psi, \Phi)$$

Так званий параметр інерції при взаємодії \square дорівнює співвідношенню сили інерції до сили в'язкості і знаходиться за формулами:

- для випадку частинок з майже однаковими розмірами:

$$\psi^{sr} = \left(\sqrt{\frac{m_r}{m_s}} + \sqrt{\frac{m_s}{m_r}} \right)^{-1} \left(\sqrt{\frac{a_s}{a_r}} + \sqrt{\frac{a_r}{a_s}} \right)^{-1} \left[\frac{2\sqrt{a_r a_s} \Delta U_p^{sr} \bar{\rho}}{18\bar{\mu}} \right] \frac{\sqrt{\rho_p^s \rho_p^r}}{\bar{\rho}} \sqrt{\frac{a_s}{a_r}} \quad (2.8)$$

- в загальному випадку

$$\psi^{sr} = \left[1 + \frac{m_r}{m_s} \right]^{-1} \frac{\rho_p^{-r} \Delta U_p^{sr}}{2(a_s - a_r)18\bar{\mu}} (2a_r)^2 \quad (2.9)$$

Параметр взаємодії за межами застосування закону Стокса Φ знаходиться за рівнянням:

$$\Phi = \frac{Re_0^2}{2\psi} \quad (2.10)$$

При відносному русі між частками s і r :

- для випадку часток майже однакового розміру:

$$\Phi^{sr} = \left(\sqrt{\frac{m_r}{m_s}} + \sqrt{\frac{m_s}{m_r}} \right) \left(\sqrt{\frac{a_s}{a_r}} + \sqrt{\frac{a_r}{a_s}} \right) \left[\frac{18\sqrt{a_r a_s} \Delta U_p^{sr} \bar{\rho}}{\bar{\mu}} \right] \left(\frac{\sqrt{\rho_p^s \rho_p^r}}{\bar{\rho}} \right)^{-1} \left(\frac{a_s}{a_r} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (2.11)$$

-в загальному випадку

$$\Phi^{sr} = \left[1 + \frac{m_r}{m_s} \right] \frac{9\rho_p^2 \Delta U_p^{sr} [2(a_s - a_r)]}{\rho_p^r \bar{\mu}} \quad (2.12)$$

де, m_s — маса частинки s ;

m_r — маса частинки r ;

a_s - радіус частинки s ;

a_r - радіус частинки r ;

n_r — число частинок радіуса r у одиниці об'єму.

2.3 Постійна часу конвективного теплообміну між часткою та рідиною

$$G^s = Nu^s \bar{\lambda} 2\pi a_s / m$$

Для сферичної частки в області справедливості закону Стокса

$$G^s = \frac{3\bar{\lambda}}{Cp^s \bar{\rho}_p a^2}$$

Введемо позначення:

$$C_1 = \left[1 - \sum K_m^s \frac{\rho_p^s}{\rho_p^s} \right]$$

$$C_2^s = K_m^s \frac{\rho_p^s}{\rho_p^s}$$

$$C_3 = \frac{9}{2\sqrt{\pi} a_s}$$

$$C_4^s = K_m^s \rho_m^s F^s$$

$$\Delta U_i = U_i - U_{pi}^s$$

$$\Delta U_{pi} = U_{pi}^r - U_{pi}^s$$

Запишемо рівняння руху для рідкої (суцільної) та дискретної фази в проекціях на координатні вісі.

Суцільне середовище:

- проекція на вісь x

$$\begin{aligned} & \rho \left(\frac{\partial U_x}{\partial \tau} + U_x \frac{\partial U_x}{\partial x} + U_y \frac{\partial U_x}{\partial y} + U_z \frac{\partial U_x}{\partial z} \right) \\ &= -C_1 \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left[2\mu_{fm} \frac{\partial U_x}{\partial x} - \frac{2}{3} \mu_{fm} \left(\frac{\partial U_x}{\partial x} + \frac{\partial U_y}{\partial y} + \frac{\partial U_z}{\partial z} \right) \right] \\ &+ \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu_{fm} \left(\frac{\partial U_x}{\partial y} + \frac{\partial U_y}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu_{fm} \left(\frac{\partial U_x}{\partial z} + \frac{\partial U_z}{\partial x} \right) \right] + \rho F_x \\ &- \frac{1}{2} \bar{\rho} \sum_s C_2^s \frac{d}{dt^s_3} \Delta U_x - C_3 \sum_s C_2^s \int_{t_0}^{t_p^s} \left[\frac{d}{dt} (\Delta U_x) (t_p^s - \tau)^{\frac{1}{2}} d\tau \right] \\ &- \sum_s C_4^s \Delta U_x \end{aligned}$$

проекція на

$$\begin{aligned} & \rho \left(\frac{\partial U_y}{\partial \tau} + U_x \frac{\partial U_y}{\partial x} + U_y \frac{\partial U_y}{\partial y} + U_z \frac{\partial U_y}{\partial z} \right) \\ &= -C_1 \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left[2\mu_{fm} \frac{\partial U_y}{\partial y} - \frac{2}{3} \mu_{fm} \left(\frac{\partial U_x}{\partial x} + \frac{\partial U_y}{\partial y} + \frac{\partial U_z}{\partial z} \right) \right] \\ &+ \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu_{fm} \left(\frac{\partial U_x}{\partial y} + \frac{\partial U_y}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu_{fm} \left(\frac{\partial U_y}{\partial z} + \frac{\partial U_z}{\partial y} \right) \right] + \rho F_y \\ &- \frac{1}{2} \bar{\rho} \sum_s C_2^s \frac{d}{dt^s_3} \Delta U_y - C_3 \sum_s C_2^s \int_{t_0}^{t_p^s} \left[\frac{d}{dt} (\Delta U_y) (t_p^s - \tau)^{\frac{1}{2}} d\tau \right] \\ &- \sum_s C_4^s \Delta U_y \end{aligned}$$

проекція на

$$\begin{aligned}
& \rho \left(\frac{\partial U_z}{\partial \tau} + U_x \frac{\partial U_z}{\partial x} + U_y \frac{\partial U_z}{\partial y} + U_z \frac{\partial U_z}{\partial z} \right) \\
&= -C_1 \frac{\partial P}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \left[2\mu_{fm} \frac{\partial U_z}{\partial z} - \frac{2}{3} \mu_{fm} \left(\frac{\partial U_x}{\partial x} + \frac{\partial U_y}{\partial y} + \frac{\partial U_z}{\partial z} \right) \right] \\
&+ \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu_{fm} \left(\frac{\partial U_z}{\partial x} + \frac{\partial U_x}{\partial z} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu_{fm} \left(\frac{\partial U_y}{\partial z} + \frac{\partial U_z}{\partial y} \right) \right] + \rho F_z \\
&- \frac{1}{2} \bar{\rho} \sum_s C_2^s \frac{d}{dt^s_3} \Delta U_z - C_3 \sum_s C_2^s \int_{t_0}^{t_p^s} \left[\frac{d}{dt} (\Delta U_z) (t_p^s - \tau)^{\frac{1}{2}} d\tau \right] \\
&- \sum_s C_4^s \Delta U_z
\end{aligned}$$

Для дискретної фази:

- проекція на вісь x

$$\begin{aligned}
& \rho_p^s \left(\frac{\partial U_{px}^s}{\partial \tau} + U_{px}^s \frac{\partial U_{px}^s}{\partial x} + U_{py}^s \frac{\partial U_{px}^s}{\partial y} + U_{pz}^s \frac{\partial U_{px}^s}{\partial z} \right) \\
&= \rho_p^s F_{px}^s + \frac{\partial}{\partial x} \left[2\mu_{fm} \frac{\partial U_{px}^s}{\partial x} - \frac{2}{3} \mu_{fm} \left(\frac{\partial U_{px}^s}{\partial x} + \frac{\partial U_{py}^s}{\partial y} + \frac{\partial U_{pz}^s}{\partial z} \right) \right] \\
&+ \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu_{pm}^s \left(\frac{\partial U_{px}^s}{\partial y} + \frac{\partial U_{py}^s}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu_{pm}^s \left(\frac{\partial U_{px}^s}{\partial z} + \frac{\partial U_{pz}^s}{\partial x} \right) \right] + \rho_p^s F^s \Delta U_x \\
&+ \rho_p^s \sum_s F^{sr} \Delta U_{px}
\end{aligned}$$

- проекція на вісь y

$$\begin{aligned}
& \rho_p^s \left(\frac{\partial U_{py}^s}{\partial \tau} + U_{px}^s \frac{\partial U_{py}^s}{\partial x} + U_{py}^s \frac{\partial U_{py}^s}{\partial y} + U_{pz}^s \frac{\partial U_{py}^s}{\partial z} \right) \\
&= \rho_p^s F_{py}^s + \frac{\partial}{\partial y} \left[2\mu_{fm} \frac{\partial U_{py}^s}{\partial y} - \frac{2}{3}\mu_{fm} \left(\frac{\partial U_{px}^s}{\partial x} + \frac{\partial U_{py}^s}{\partial y} + \frac{\partial U_{pz}^s}{\partial z} \right) \right] \\
&+ \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu_{pm}^s \left(\frac{\partial U_{px}^s}{\partial y} + \frac{\partial U_{py}^s}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu_{pm}^s \left(\frac{\partial U_{py}^s}{\partial z} + \frac{\partial U_{pz}^s}{\partial y} \right) \right] + \rho_p^s F^s \Delta U_y \\
&+ \rho_p^s \sum_s F^{sr} \Delta U_{py}
\end{aligned}$$

проекція на вісь x

$$\begin{aligned}
& \rho_p^s \left(\frac{\partial U_{pz}^s}{\partial \tau} + U_{px}^s \frac{\partial U_{pz}^s}{\partial x} + U_{py}^s \frac{\partial U_{pz}^s}{\partial y} + U_{pz}^s \frac{\partial U_{pz}^s}{\partial z} \right) \\
&= \rho_p^s F_{pz}^s + \frac{\partial}{\partial z} \left[2\mu_{fm} \frac{\partial U_{pz}^s}{\partial z} - \frac{2}{3}\mu_{fm} \left(\frac{\partial U_{px}^s}{\partial x} + \frac{\partial U_{py}^s}{\partial y} + \frac{\partial U_{pz}^s}{\partial z} \right) \right] \\
&+ \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu_{pm}^s \left(\frac{\partial U_{pz}^s}{\partial x} + \frac{\partial U_{px}^s}{\partial z} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu_{pm}^s \left(\frac{\partial U_{py}^s}{\partial z} + \frac{\partial U_{pz}^s}{\partial y} \right) \right] + \rho_p^s F^s \Delta U_z \\
&+ \rho_p^s \sum_s F^{sr} \Delta U_{pz}
\end{aligned}$$

В суцільному та дискретному середовищах дисипативна складова значно менше ніж в інших складових рівняння енергії, запишемо рівняння енергії для суцільної та дискретної фази.

Суцільне середовище:

$$\begin{aligned}
& \rho \left(\frac{\partial (CpT)}{\partial t} + U_x \frac{\partial}{\partial x} (CpT) + U_y \frac{\partial}{\partial y} (CpT) + U_z \frac{\partial}{\partial z} (CpT) \right) \\
&= \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_m \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_m \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_m \frac{\partial T}{\partial z} \right) + F_E
\end{aligned}$$

Дискретна фаза:

$$\begin{aligned}
& \rho_p^s \left(\frac{\partial(C_p^s T^s)}{\partial t} + U_{px}^s \frac{\partial}{\partial x} (C_p^s T^s) + U_{py}^s \frac{\partial}{\partial y} (C_p^s T^s) + U_{pz}^s \frac{\partial}{\partial z} (C_p^s T^s) \right) \\
& = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_{pm}^s \frac{\partial T_p^s}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_{pm}^s \frac{\partial T_p^s}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_{pm}^s \frac{\partial T_p^s}{\partial z} \right) + F_{pe}^s \\
& + C_p^s \rho_p^s G^s (T - T_p^s) + C_p^s \rho_p^s \sum_s G_p^{sr} (T_p^r - T_3^s)
\end{aligned}$$

Враховуючи, що розглядається стаціонарний процес гранулювання, члени в рівнянні руху, що враховують вплив сили Бассе малі і ними можна знехтувати та членом рівняння руху, що враховує вплив прискорення уявної маси частинок відносно теплоносія.

Компоненти вектора швидкості теплоносія та дискретної фази U_x , U_y , U_{px} , U_{py} приймаємо рівним нулю. Градієнт тиску у напрямку осі x та осі y відсутній.

$$\rho_p U_{px} \frac{\partial U_z}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu_{pm} \frac{\partial^2 U_{pz}}{\partial x^2} + \rho_p (U_z - U_{pz}) F^s + (\rho + \rho_p) g \quad (2.13)$$

$$\bar{\rho} U_{px} \frac{\partial U_z}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial z} \left(1 - \frac{\rho_p}{\bar{\rho}_p} \right) - \bar{\rho} g + \bar{\rho} F^s (U_z - U_{pz}) + \mu \frac{\partial^2 U_z}{\partial x^2} \quad (2.14)$$

Рівняння енергії для суцільної та дискретної фаз:

$$\rho C_p U_z \frac{\partial T}{\partial z} = F_E \quad (2.15)$$

$$\rho_p^s C_p^s U_{pz} \frac{\partial T}{\partial z} = \lambda_{pm}^s \frac{\partial^2}{\partial x^2} + F_{pe}^s + C_p^s \rho_p^s G^s (T - T_p^s) \quad (2.16)$$

Рівняння належать до диференціальних рівнянь в часткових похідних, алітичний розв'язок цих рівнянь є проблематичним.

2.4 Чисельний розв'язок математичної моделі процесу теплообміну у псевдозрідженому шарі

Так як, представлена мною математична модель, належать до диференціальних рівнянь в часткових похідних та є дуже складною у розв'язанні, далі розглянемо більш простішу модель.

При розгляді кінетики процесу сушіння одиночної сферичної частинки на першому рівні розглядається процес міжфазного теплообміну між її поверхнею та потоком сушильного агента, а також перенесення тепла всередині неї. У випадку, коли характер теплопровідності всередині частинки впливає на кінетику видалення вологи, розрахунок проводиться на основі рівнянь внутрішнього тепломасоперенесення

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial t_m}{\partial \tau} &= a_m \left[\frac{\partial^2 t_m}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial t_m}{\partial r} \right] + \frac{\varepsilon^* r_c}{c_q} \frac{\partial U_m}{\partial \tau} \\ \frac{\partial U_m}{\partial \tau} &= k \left[\frac{\partial^2 U_m}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial U_m}{\partial r} \right] + k \sigma^* \left(\frac{\partial^2 t_m}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial t_m}{\partial r} \right) \end{aligned} \right\} \quad (2.17)$$

d_s, t_m – температура матеріалу;

ε^* – критерій фазового перетворення;

σ^* – термоградієнтний коефіцієнт перенесення вологи;

a_m – коефіцієнт температуропровідності;

r_c – питома теплота фазового переходу;

r – поточний радіус частинки;

c_q – теплоємність частинки;

k – коефіцієнт потенціалопровідності.

Розрахунок процесу сушіння за рівнянням масоперенесення має деякі особливості, пов'язані з тим, що в об'єктах сушіння відбувається взаємопов'язане тепломасоперенесення: видалення вологи і одночасне нагрівання вологого матеріалу. Взаємозв'язок між цими процесами обумовлений тим, що масообмінні коефіцієнти залежать від температури, а теплові - від концентрації вологи в матеріалі. З урахуванням того, що матеріал,

на кожному ступені висушується в обмеженому діапазоні вологості і є термолабільним, доцільно припустити також аналогію градієнтних механізмів тепло- та масоперенесення. Тоді система рівнянь запишеться таким чином

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial t_m}{\partial \tau} &= a_m \left[\frac{\partial^2 t_m}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial t_m}{\partial r} \right] \\ \frac{\partial U_m}{\partial \tau} &= k \left[\frac{\partial^2 U_m}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial U_m}{\partial r} \right] \end{aligned} \right\} \quad (2.18)$$

Використання для розрахунку кінетики сушіння одного з рівнянь системи, дає можливість замінити друге рівняння емпіричною апроксимацією. Таким чином, температурновологісна характеристика матеріалу замикає систему рівнянь тепломасоперенесення. Щоб провести розрахунок процесу сушіння по концентраційним зонам, в цьому випадку потрібно знати теплофізичні властивості дисперсного матеріалу, а для визначення коефіцієнта масовіддачі і масопровідних властивостей використовують аналогічну температурно-вологісну апроксимацію. В даний час існує велика кількість теоретичних рішень диференціальних рівнянь тепломасоперенесення для дисперсних систем, які піддаються сушінню. Всі вони з більшою або меншою точністю описують процес нагрівання частинок при заданих початкових та крайових умовах третього роду в рівняннях. Розглянемо одну з найбільш розповсюджених експоненціальних моделей у вигляді зміни температури та вологості частинки в залежності від її поточного радіусу та часу сушіння:

$$\frac{t_{(r,t)} - t_{\text{м.поч}}}{t_{\text{суш.поч}} - t_{\text{м.поч}}} = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} A_n \frac{\sin \mu_n \frac{r}{R}}{\mu_n \frac{r}{R}} \exp(-\mu_n^2 Fo_t) \quad (2.19)$$

$$\frac{U_{\text{м.поч}} - U_{(r,t)}}{U_{\text{м.поч}} - U_{\text{суш.поч}}} = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} A_n \frac{\sin \mu_n \frac{r}{R}}{\mu_n \frac{r}{R}} \exp(-\mu_n^2 Fo_U) \quad (2.20)$$

де, $t_{(r,t)}$ – температура частинки в поточному її радіусі в даний момент часу;

$t_{\text{м.поч}}$ – початкова температура частинки, яку піддають сушінню;

$t_{\text{суш.поч}}$ – початкова температура сушильного агента, °C;

$U_{\text{м.поч}}$ – початкова вологість частинки, яку піддають сушінню;

$U_{(r,t)}$ – вологість частинки в поточному її радіусі в даний момент часу;

$U_{\text{суш.поч}}$ – початкова вологість сушильного агента;

R – характерний розмір дисперсного матеріалу;
 Fo_t – критерій Фур'є для теплообміну під час сушіння;
 Fo_U – критерій Фур'є для масообміну під час сушіння;
 A_n, μ_n – сталі коефіцієнти та корені характеристичного рівняння.

Корінь характеристичних рівнянь μ_n є функцією критерію Біо

$$\mu_n = f(Bi) \quad (2.21)$$

який визначається за виразом:

$$Bi = \frac{\alpha \cdot R}{\lambda} \quad (2.22)$$

де α – коефіцієнт тепловіддачі;

λ – коефіцієнт теплопровідності.

У вказаній функціональній залежності приймають до уваги особливості процесу теплообміну, які визначаються граничними значеннями критерію Біо:

$$0 < Bi < \infty$$

При $Bi \rightarrow 0$ дисперсний матеріал малого розміру буде мати максимальне значення теплопровідності, а при $Bi \rightarrow \infty$ матеріал максимального розміру буде мати максимальне значення коефіцієнту тепловіддачі. З граничних значень критерію Біо видно що, для процесу сушіння є необхідність використати у вказаних межах з метою подальшого визначення кореня характеристичного рівняння μ_n .

Розпочинаючи з деякого значення критерію Фур'є прийнятна в інженерній практиці точність розрахунку 1–2 % може бути досягнута вже завдяки першим двом-трьом членам ряду. При цьому вклад першого члену ряду становить не менше 96 % і тому обмежимося лише ним. Таким чином, враховуючи умови:

$$\left. \begin{array}{l} r = R \\ Fo \geq 0,7 \end{array} \right\} \quad (2.23)$$

Кінетика нагрівання частинки визначається експоненційною функцією:

$$\frac{t_{\text{пов}} - t_{\text{м.поч}}}{t_{\text{суш.поч}} - t_{\text{м.поч}}} = 1 - A_n \frac{\sin \mu_n}{\mu_n} \exp(-\mu_n^2 Fo_t) \quad (2.24)$$

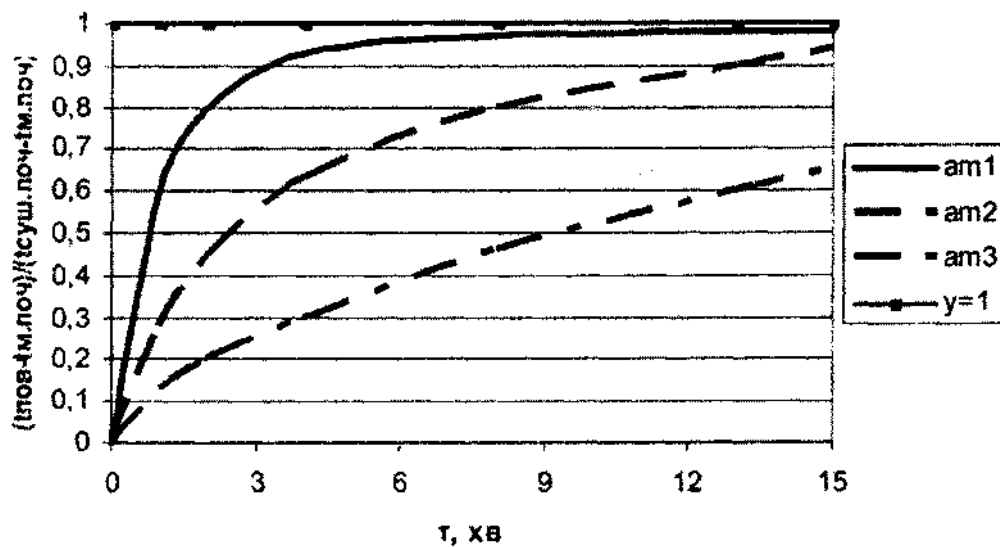
де $t_{\text{пов}}$ – температура поверхні частинки;

З урахуванням значення критерію Фур'є запишемо рівняння в такому вигляді:

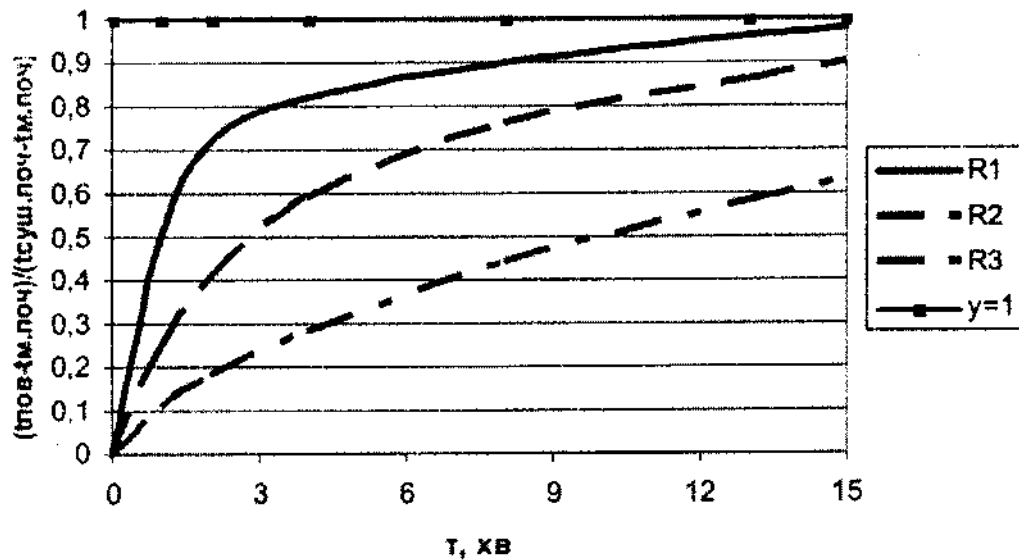
$$\frac{t_{\text{пов}} - t_{\text{м.поч}}}{t_{\text{суш.поч}} - t_{\text{м.поч}}} = 1 - A_n \frac{\sin \mu_n}{\mu_n} \exp\left(-\mu_n^2 \frac{a_m \tau_n}{R^2}\right) \quad (2.25)$$

де τ_n – час нагріву.

Експоненційний характер зміни температури поверхні дисперсної частинки згідно рівняння показано на графіках (рисунок 2.1).



а



б

Рисунок 2.1 - Якісний характер кривих інтенсивності нагрівання матеріалу:

а – при $R = const$ в залежності від їх теплофізичних властивостей ($a_{m1} > a_{m2} > a_{m3}$);

б – при $a_m = const$ в залежності від їх теплофізичних властивостей ($R_1 < R_2 < R_3$).

Аналіз рисунка 3.1 показує, що при постійному радіусі частинки матеріал може нагріватись з різною інтенсивністю, яка залежить від його теплофізичних властивостей. Відповідно, нагрівання частинок з подібними теплофізичними властивостями відбувається інтенсивніше при зменшенні їх радіусу.

У зваженому шарі твердих частинок, враховуючи активне перемішування частинок в шарі, кінетика процесу сушіння описується балансовими рівняннями 62 перенесення теплоти та вологи:

$$\begin{cases} G_B c_{\text{ч}} \rho_{\text{ч}} \frac{dt_m}{d\tau} = \alpha F_{\text{ш}} (t_{\text{суш}} - t_m) \\ \rho_{\text{ч}} \frac{dU_m}{d\tau} = \beta F_{\text{ш}} (U_m - U_{\text{суш}}) \end{cases} \quad (2.26)$$

де G_B – витратна концентрація (як відношення масових витрат твердої та газової фаз);

U_m – поточна вологість матеріалу;

t_m – поточна температура матеріалу;

$t_{\text{суш}}$ – поточна температура сушильного агента;

β – коефіцієнт масовіддачі;

$F_{\text{ш}}$ – питома поверхня частинок в шарі $F_{\text{ш}} = \frac{6(1-\varepsilon)}{d_m}$;

τ_c – час сушіння матеріалу.

Після інтегрування рівняння:

$$\begin{cases} \frac{t_{\text{суш.поч}} - t_m}{t_{\text{суш.поч}} - t_{\text{м.поч}}} = \exp\left(-\frac{\alpha F_{\text{ш}}}{G_b c_q \rho_q} \tau_n\right) \\ \frac{U_m - U_{\text{суш.поч}}}{U_{\text{м.поч}} - U_{\text{суш.поч}}} = \exp\left(-\frac{\beta F_{\text{ш}}}{\rho_q} \tau_c\right) \end{cases} \quad (2.27)$$

Для визначення кінетичних характеристик вказаних експоненційних кривих процесу, слід провести процедуру лінеаризації. Так, з рівнянь видно, що швидкість нагрівання матеріалу з характерним розміром частинок d_q складає деякий параметр K_t

$$K_t = \frac{\alpha}{G_b c_q \rho_q} \cdot \frac{6(1-\varepsilon)}{d_q} \quad (2.28)$$

Тоді перше рівняння системи з урахуванням заміни відповідних параметрів у лівій частині даного рівняння запишеться-у вигляді

$$\frac{t_{\text{суш.поч}} - t_m}{t_{\text{суш.поч}} - t_{\text{м.поч}}} = \exp(-K_t \tau_n) \quad (2.29)$$

або після логарифмування

$$K_t \tau_n = -\ln \frac{t_m - t_{\text{м.поч}}}{t_{\text{суш.поч}} - t_{\text{м.поч}}} \quad (2.30)$$

Таким чином, після лінеаризації модель кінетики нагрівання набуває вигляду, зручного для статистичної обробки даних і визначення кінетичних параметрів (рисунок 2,2 а). Дані для побудови нижченаведеної графічної залежності представлені в додатку А (таблиця А1).

З цього графіка кінетичний параметр K_t знаходиться як тангенс кута нахилу прямої, що апроксимує сукупність експериментальних точок в координатах часу та безрозмірної температури.

Для визначення часу сушіння дисперсної частинки, доцільно дослідити зміну вологості матеріалу згідно аналогічного рішення при відповідній заміні температур на вологості.

Лінеаризований графік кінетики сушіння в координатах часу та вологості матиме вигляд (рисунок 2.2 б). Дані для побудови нижченаведеної графічної залежності представлені в додатку А (таблиця А2).

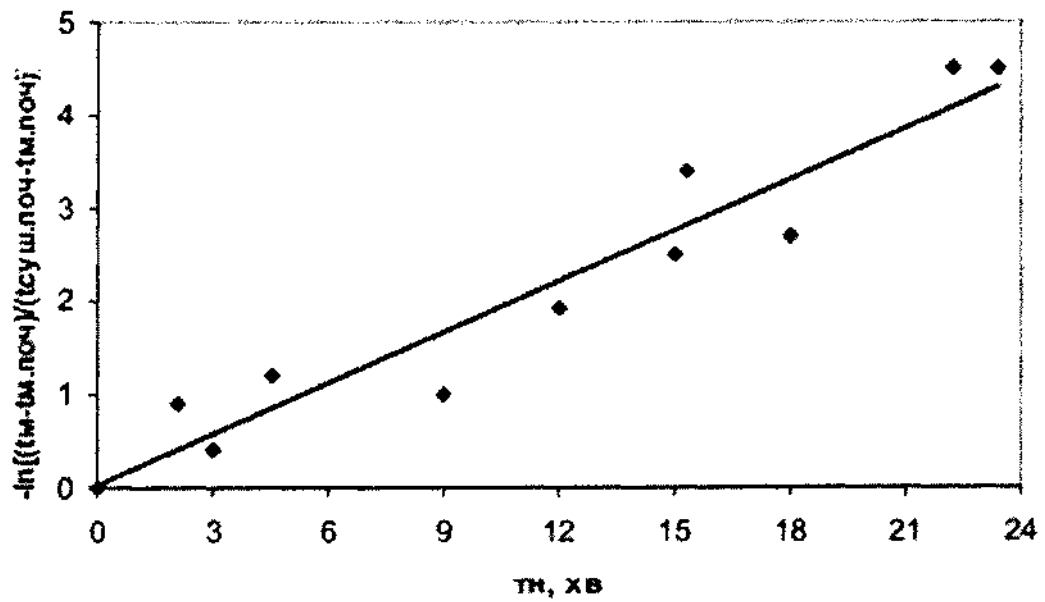
Згідно відомої аналогії тепло- та масообмінних процесів рівняння лінійної апроксимації зміни вологості аналогічне, запишеться таким чином:

$$K_U \tau_n = - \ln \frac{U_m - U_{\text{суш.поч}}}{U_{\text{м.поч}} - U_{\text{суш.поч}}} \quad (2.31)$$

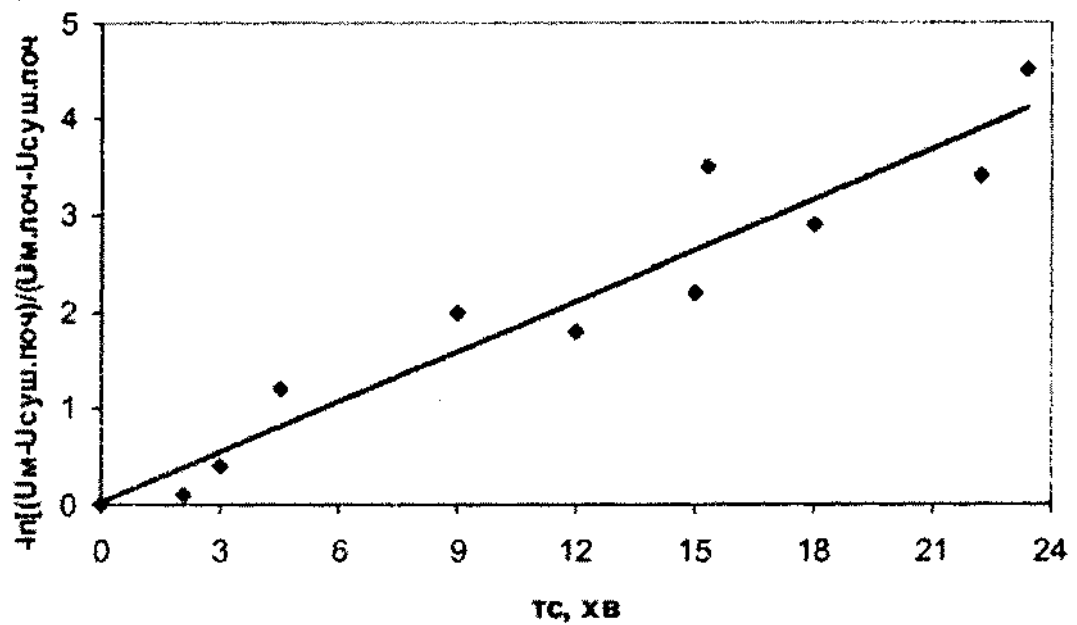
де $K_U = \frac{\beta F_{\text{ш}}}{\rho_{\text{ч}}}$ кінетичний параметр вологовіддачі.

Задаючись початковою вологістю матеріалу, сушильного агента та потрібною технологічною вологістю матеріалу розраховується час сушіння:

$$\tau_c = - \frac{1}{K_U} \ln \frac{U_m - U_{\text{суш.поч}}}{U_{\text{м.поч}} - U_{\text{суш.поч}}} \quad (2.32)$$



а



б

Рисунок 2.2 – Графік до визначення кінетичного параметру:
а – для нагрівання матеріалу K_t ; б – для сушіння матеріалу K_U

3. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРОБЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ СУШАРКИ КИПЛЯЧОГО ШАРУ

3.1. Матеріальний баланс

Метою проведення розрахунку матеріального балансу є визначення кількості води, видаленої з сушильної камери, а також продуктивності сушарки по вологому матеріалу. Схема розрахунку наведена на рисунку 4.1.

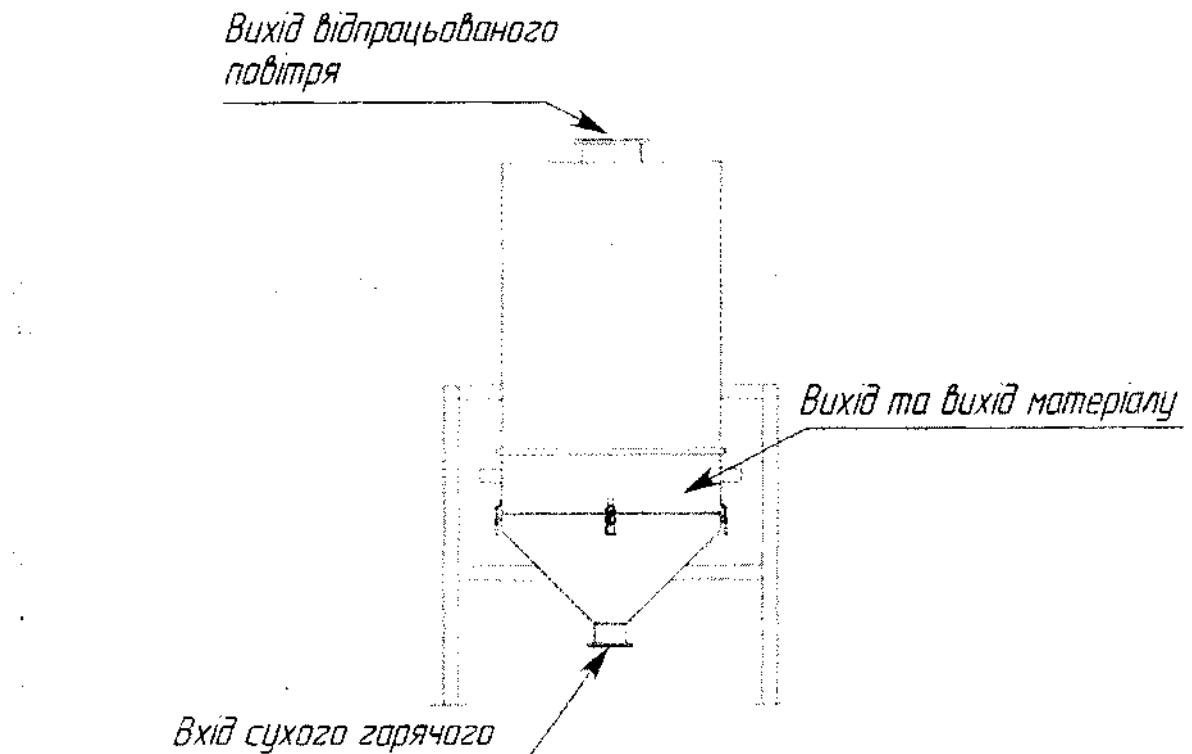


Рисунок 3.1. Схема до розрахунку матеріального балансу

Запишемо матеріальний баланс процесу [1]:

$$G_n = G_k + W,$$

де G_n - продуктивність сушарки по вологому матеріалу;

G_k - продуктивність сушарки по сухому матеріалу;

W - кількість випареної води.

Продуктивність сушарки по вологому матеріалу визначають за наступною формулою:

$$G_n = \frac{G_k(100 - w_k)}{100 - w_n} = \frac{15(100 - 2,5)}{100 - 65} = 42 \text{ кг/год.}$$

де w_n - початкова вологість матеріалу, $w_n = 65\%$;

w_k - кінцева вологість матеріалу, $w_k = 2,5\%$;

Кількість випареної води визначимо з матеріального балансу наступним чином:

$$W = G_n - G_k = 42 - 15 = 27 \text{ кг/год.}$$

Використовуючи всі отримані раніше дані, запишемо рівняння матеріального балансу процесу:

$$G_n = G_k + W ;$$

$$42 \frac{\text{кг}}{\text{год}} = 15 \frac{\text{кг}}{\text{год}} + 27 \frac{\text{кг}}{\text{год}} ;$$

3.2. Тепловий

баланс Вихідні дані:

матеріал, що висушується - вологий гранулят таблеткової маси парацетамолу;

продуктивність сушарки по висушеному матеріалу G_k , кг/год	15;
початкова вологість матеріалу w_n , %	65;
кінцева вологість матеріалу w_k , %	2,5;
температура теплоносія на вході в сушильну камеру t_1 , °C	65;
температура теплоносія на виході із сушильної камери t_2 , °C	40;
температура матеріалу на вході в сушильну камеру θ_1 , °C	25;
температура матеріалу на виході із сушильної камери θ_2 , °C	37.

В процесі сушіння волога з матеріалу, поданого у сушарку, випарюється і виноситься сушильним агентом. Для випарювання води і проведення сумісно із сушкою інших термічних процесів до матеріалу необхідно підвести тепло. Його можна підводити різними способами в залежності від способу сушки.

Для визначення витрати тепла на сушку та витрати відповідно пального, електреенергії та пари використовують рівняння теплового балансу. Схема до розрахунку представлена на рисунку 4.2.

Метою теплового балансу є визначення витрати сухого повітря та його вологовмісту. Для цього нам необхідно розрахувати загальну витрату тепла, для визначення якої в свою чергу потрібно скласти рівняння теплового балансу.

Для того, щоб скласти рівняння теплового балансу, запишемо всі складові витрати тепла [3]:

- тепло, що витрачається на випарювання води:

$$Q_{\text{вип}} = W[r_0 + c_n(t_2 - \theta_1)],$$

тут r_0 - теплота випарювання при 0°C ;

c_n - теплоємність водяної пари;

t_2 - температура теплоносія на виході з сушильної камери;

θ_1 - температура матеріалу на вході в сушильну камеру;

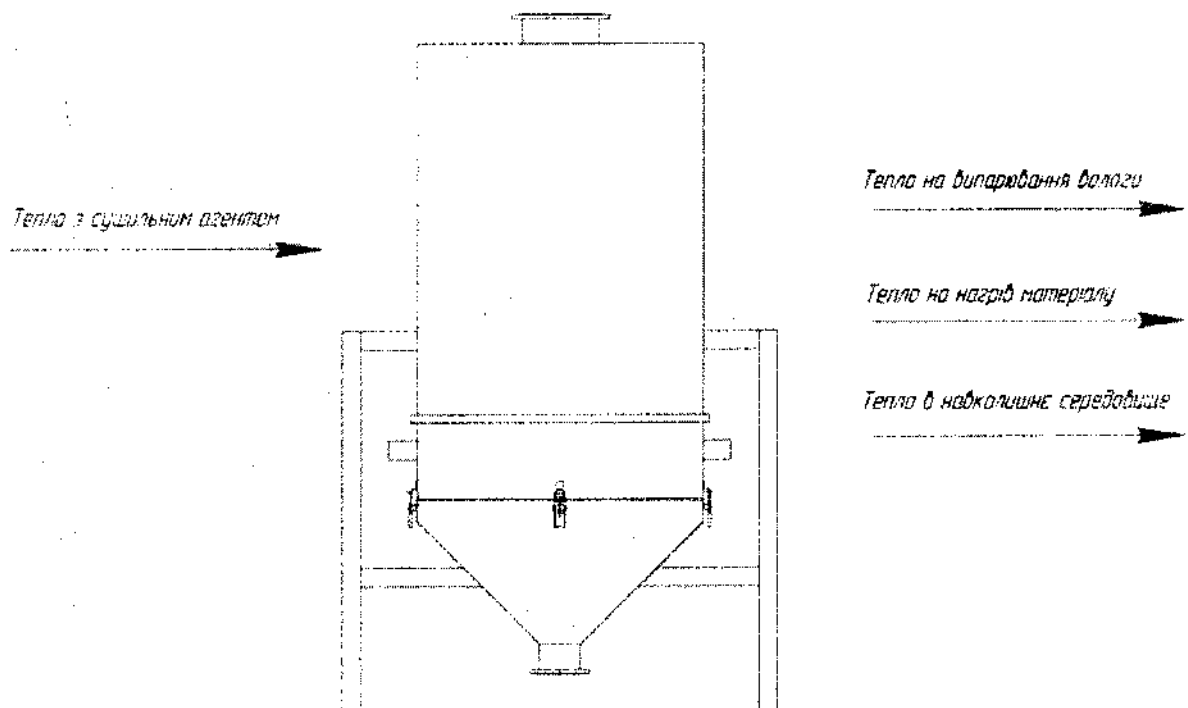


Рисунок 3.2. Схема до розрахунку теплового балансу

- тепло, що витрачається на нагрів матеріалу:

$$Q_{нагр} = G_{\kappa} c_{\kappa} (\theta_2 - \theta_1),$$

тут c_{κ} - теплоємність матеріалу;

θ_2 - температура матеріалу на виході з сушильної камери;

Втрати тепла в навколишнє середовище (приймаємо їх рівними 15% від перших двох складових) [1]:

$$Q_{втрат} = 0,15(Q_{вих} + Q_{нагр}).$$

Тепер складемо рівняння витрати тепла:

$$Q = Q_{вих} + Q_{нагр} + Q_{втрат}.$$

Розпишемо складові рівняння, врахувавши формули:

$$\begin{aligned} Q &= Q_{вих} + Q_{нагр} + Q_{втрат} = 1,15 \{ W[r_0 + c_n(t_2 - \theta_1)] + G_{\kappa} c_{\kappa} (\theta_2 - \theta_1) \} = \\ &= 1,15 \left\{ \frac{27}{3600} [2490 \cdot 10^3 + 1,97 \cdot 10^3 (40 - 25)] + \frac{15}{3600} \cdot 0,680 \cdot 10^3 (37 - 25) \right\} = 217,31 \text{ кВт}. \end{aligned}$$

Витрату сухого повітря визначатимемо за формулою:

$$L = \frac{Q}{c_n(t_1 - t_2)} = \frac{217,31 \cdot 10^3}{1,97 \cdot 10^3 (65 - 40)} = 4,41 \text{ кг/с.}$$

де c_n - теплоємність сухого повітря, $c_n = 1,97 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К), [6];

t_1 - температура теплоносія на вході в сушильну камеру.

Визначимо питомі витрати сухого повітря:

$$l = \frac{L}{W} = \frac{4,41}{27} = 0,163 \text{ кг/кг.}$$

Параметри повітря перед калорифером : $t_0 = 19^\circ \text{C}$, $\varphi_0 = 70\%$.

Вологовміст повітря перед калорифером:

$$x_1 = \frac{622 \cdot \varphi_0 \cdot \rho_n}{B - \varphi_0 \cdot \rho_n} = \frac{622 \cdot 0,7 \cdot 17,54}{745 - 0,7 \cdot 17,54} = 10,42 \text{ г/кг} = 0,01 \text{ кг/кг,}$$

де B - барометричний тиск.

Вологовміст повітря на виході із сушильної камери:

$$x_2 = x_1 + \frac{1}{l} = 0,01 + \frac{1}{0,163} = 6,14 \text{ кг/кг.}$$

Проведемо розрахунок теплової ізоляції сушарки, метою якого є визначити товщину ізоляції.

В якості матеріалу для ізоляції обрано вату мінеральну ВМСТ ГОСТ 4640-93, що має коефіцієнт теплопровідності $\lambda_i = 0,72 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$. Приймаємо температуру зовнішньої поверхні стінки $t_{cm} = 60^\circ \text{C}$. Температуру зовнішнього середовища $t_0 = 19^\circ \text{C}$. Тоді товщина шару ізоляції:

$$s_i = \frac{\lambda_i (t_1 - t_{cm})}{\alpha_z (t_{cm} - t_0)} = \frac{0,72 (65 - 60)}{12,78 (60 - 19)} = 0,0068 \text{ м,}$$

тут $\alpha_z = 9,3 + 0,058 t_{cm} = 9,3 + 0,058 \cdot 60 = 12,78 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні апарата в навколишнє середовище [3].

Приймаємо товщину шару ізоляції $s_i = 0,008 \text{ м}$.

3.3. Гідродинамічний розрахунок апарату

3.3.1. Параметри повітря на виході з сушильної камери

Визначимо густину та в'язкість повітря на виході з сушильної камери.

Густина повітря на виході з сушарки:

$$\rho_t = 1,293 \frac{273}{273 + 65} = 1,044 \text{ кг/м}^3.$$

Коефіцієнт динамічної в'язкості повітря при температурі 65°C :

$$\mu_t = \mu_0 \frac{273 + C}{T_2 + C} \left(\frac{T_2}{273} \right)^{3/2} = 17,3 \cdot 10^{-6} \frac{273 + 124}{313 + 124} \left(\frac{313}{273} \right)^{3/2} = 18,84 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с,}$$

де μ_0 – коефіцієнт динамічної в'язкості повітря при температурі 0°C ,

$$\mu_0 = 17,3 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с;}$$

C – допоміжний коефіцієнт, $C = 124$, , [6];

T_2 – температура повітря на виході з сушильної камери, К.

Коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря:

$$v_t = \frac{\mu_t}{\rho_t} = \frac{18,84 \cdot 10^{-6}}{1,044} = 18,05 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}.$$

3.3.2. Робоча швидкість повітря

Визначимо критерій Архімеда:

$$Ar = \frac{gd^3}{v_t^2} \cdot \frac{\rho_M - \rho_t}{\rho_t} = \frac{9,8 \cdot 5^3 \cdot (10^{-3})^3}{(18,05 \cdot 10^{-6})^2} \cdot \frac{1540 - 1,04}{1,04} = 5346933,$$

тут g - прискорення вільного падіння;

d - діаметр гранул таблеткової маси, $d = 5$ мм;

ρ_M - густина таблеткової маси, $\rho_M = 1540 \text{ кг/м}^3$, [13].

Критерій Рейнольдса для робочого режиму:

$$Re_p = \frac{Ar \cdot \varepsilon^{4,75}}{18 + 0,61\sqrt{Ar \cdot \varepsilon^{4,75}}} = \frac{5346933 \cdot 0,9^{4,75}}{18 + 0,61\sqrt{5346933 \cdot 0,9^{4,75}}} = 2904,$$

Порозність киплячого шару:

$$\varepsilon = \left(\frac{18 \cdot Re_p + 0,36 \cdot (Re_p)^2}{Ar} \right)^{0,21} = \left(\frac{18 \cdot 2904 + 0,36 \cdot (2904)^2}{5346933} \right) = 0,9,$$

Визначимо робочу швидкість повітря:

$$V_p = \frac{Re_p \cdot v_t}{d} = \frac{2904 \cdot 18,05 \cdot 10^{-6}}{5 \cdot 10^{-3}} = 10,5 \text{ м/с}.$$

3.3.3. Діаметр апарату біля газорозподільної решітки

При $\varepsilon=0,9$, обираємо $Lu = 0,9$ [12],

Визначимо площу газорозподільної решітки:

$$S_p = \frac{L(1+x_2)}{\rho_t V_p} = \frac{4,41(1+6,14)}{1,044 \cdot 10,5} = 2,8 \text{ м}^2.$$

Діаметр апарата:

$$D = \sqrt{\frac{S_p}{0,785}} = \sqrt{\frac{2,8}{0,785}} = 1,5 \text{ м}.$$

Виходячи з отриманого діаметру, приймаємо діаметр апарата $D = 1,5$ м.

3.3.4 Висота киплячого шару

Критерій Прандтля:

$$Pr = \frac{c_p \mu_t}{\lambda_t} = \frac{10^3 \cdot 18,84 \cdot 10^{-6}}{0,035} = 0,495,$$

де λ_t - теплопровідність повітря, $\lambda_t = 0,035$ Вт/(м·К) [6].

Критерій Нуссельта:

$$Nu = 0,4 \left(\frac{Re_p}{\varepsilon} \right)^{0,67} Pr^{0,33} = 0,4 \left(\frac{2904}{0,9} \right)^{0,67} 0,495^{0,33} = 71,14.$$

Коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha = \frac{Nu \lambda_t}{d} = \frac{71,14 \cdot 0,035}{0,005} = 497,9 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Число одиниць переносу:

$$m_0 = \ln \frac{t_1 - \theta_2}{t_2 - \theta_2} = \ln \frac{65 - 37}{40 - 37} = 9,3.$$

Об'єм киплячого шару:

$$V_{ш} = \frac{Lc_n m_0}{\alpha S_{шт} (1 - \varepsilon)} = \frac{4,41 \cdot 1,97 \cdot 10^3 \cdot 9,3}{497,9 \cdot 1200 (1 - 0,9)} = 1,35 \text{ м}^3,$$

де $S_{шт}$ - питома поверхня шару, вона визначається наступним чином:

$$S_{шт} = \frac{6}{d_0} = \frac{6}{0,005} = 1200 \text{ м}^{-1}.$$

Висота шару [5]:

$$H_{ш} = \frac{V_{ш}}{S_p} = \frac{1,35}{2,8} = 0,5 \text{ м}.$$

Приймаємо висоту апарата (над решіткою):

$$H = 4H_{ш} = 4 \cdot 0,5 = 2 \text{ м}.$$

Обираємо діаметр отворів $d_0 = 2$ мм, зверху розсвердлені до 4 мм.

Визначимо кількість отворів розподілюючої решітки:

$$n = \frac{4S_p \phi}{\pi d_0^2} = \frac{4 \cdot 2,8 \cdot 0,1}{3,14 \cdot (0,004)^2} = 294_{\text{отв.}}$$

3.3.5. Перевірка умови виносу з апарату дрібних частинок

Приймаємо мінімальний діаметр частинок $d_{\min} = 0,5 \text{ мм}$.

Визначимо критерій Архімеда для частинок з цим діаметром за формулою:

$$Ar_{\min} = \frac{g d_{\min}^3}{\nu_l^2} \cdot \frac{\rho_M - \rho_l}{\rho_l} = \frac{9,8 \cdot 0,5^3 \cdot (10^{-3})^3}{(18,05 \cdot 10^{-6})^2} \cdot \frac{1540 - 1,04}{1,04} = 5346933.$$

За формулою критерій Рейнольдса:

$$Re_{\text{crit}} = \frac{Ar}{18 + 0,61\sqrt{Ar}} = \frac{5346933}{18 + 0,61\sqrt{5346933}} = 3743.$$

Визначимо швидкість витання частинок, користуючись формулою:

$$V_{\text{crit}} = \frac{Re_{\text{crit}} \cdot \nu_l}{d_{\min}} = \frac{3743 \cdot 18,05 \cdot 10^{-6}}{3 \cdot 10^{-3}} = 22,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Швидкість витання частинок більша за робочу швидкість повітря. Тому ми можемо використовувати апарат циліндричної форми.

3.3.6. Перевірка умови псевдозрідження частинок максимального розміру

Приймаємо максимальний діаметр частинок $d_{\max} = 3,5 \text{ мм}$.

Швидкість повітря поблизу решітки:

$$V_{\text{реш}} = V_p \frac{(273 + t_1)}{(273 + t_2)} = 10,5 \frac{273 + 65}{273 + 40} = 11,3 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Швидкість повітря у отворах решітки:

$$V_{\text{от}} = \frac{V_{\text{реш}}}{\phi} = \frac{11,3}{0,1} = 113 \frac{\text{м}}{\text{с}},$$

де ϕ - частка живого перетину решітки, $\phi = 0,1$ [5].

Швидкість псевдозрідження частинок максимального розміру:

$$V_{кр(от)} = \frac{V_{от}}{k} = \frac{113}{2,5} = 45,2 \frac{м}{с},$$

де k - число псевдо зрідження, $k = 2,5$ [3].

Критерій Архімеда для частинок максимального розміру визначимо за формулою:

$$Ar_{max} = \frac{g d_{max}^3}{\nu_i^2} \cdot \frac{\rho_M - \rho_i}{\rho_i} = \frac{9,8 \cdot 3,5^3 \cdot (10^{-3})^3}{(18,05 \cdot 10^{-6})^2} \cdot \frac{1540 - 1,04}{1,04} = 8941824.$$

Параметри повітря поблизу решітки при температурі 65°C:

- густина за формулою:

$$\rho_{t2} = 1,293 \frac{273}{273 + 65} = 1,044 \frac{кг}{м^3};$$

- динамічний коефіцієнт в'язкості за формулою:

$$\mu_{t2} = 17,3 \cdot 10^{-6} \frac{273 + 124}{313 + 124} \left(\frac{313}{273} \right)^{3/2} = 18,84 \cdot 10^{-6} Па \cdot с;$$

- кінематичний динамічний коефіцієнт в'язкості за формулою:

$$\nu_{t2} = \frac{\mu_{t2}}{\rho_{t2}} = \frac{18,84 \cdot 10^{-6}}{1,044} = 18,04 \cdot 10^{-6} \frac{м^2}{с}.$$

Критерій Рейнольдса визначатимемо з наступної формули:

$$Re_{max} = \frac{Ar_{max}}{1400 + 5,22 \sqrt{Ar_{max}}} = \frac{8941824}{1400 + 5,22 \sqrt{8941824}} = 525,7.$$

Швидкість повітря, що необхідна для зрідження частинок максимального розміру:

$$V_{кр(max)} = \frac{Re_{max} \nu_{t2}}{d_{max}} = \frac{525,7 \cdot 18,04 \cdot 10^{-6}}{0,0035} = 2,7 \frac{м}{с}.$$

Псевдозрідження частинок максимального розміру забезпечується, оскільки виконується умова $V_{сп(от)} > V_{кр(max)}$.

3.4 Гідравлічний розрахунок сушарки

3.4.1. Гідравлічний опір сушарки

Гідравлічний опір ΔP складається з наступних складових:

- опір псевдозрідженого шару [4]:

$$\Delta P_{ш} = H_{ш} (1 - \varepsilon) (\rho_{ш} - \rho_l) g = 0,5(1 - 0,9)(1540 - 1,04)9,8 = 754 \text{ Па};$$

- опір решітки [4]:

$$\Delta P_{реш} = \xi \left(\frac{V_p}{\phi} \right)^2 \frac{\rho_{l2}}{2} = 1,75 \left(\frac{10,5}{0,1} \right)^2 \frac{1,044}{2} = 2554 \text{ Па},$$

де ξ - коефіцієнт опору решітки, $\xi = 1,75$ [12].

Гідравлічний опір обчислюється за наступною формулою:

$$\Delta P = \Delta P_{ш} + \Delta P_{реш}.$$

Обрахуємо цей вираз, враховуючи попередні обчислення:

$$\Delta P = 754 + 2554 = 3308 \text{ Па}.$$

3.5. Розрахунок штуцерів

Для подачі матеріалу на сушіння, гарячого теплоносія в сушарку та видалення висушеного матеріалу і вихлопу газу з апарату вибираємо штуцери з приварними плоскими фланцями і тонкостінними патрубками для умовного тиску всередині апарату до 0,6 МПа за АТК 24.218.06-90 [14].

Діаметр штуцерів для входу та виходу повітря розраховується за формулою:

$$d = \sqrt{\frac{L}{0,785 w \rho}},$$

де L - масова витрата теплоносія;

w - швидкість руху теплоносія у штуцері;

ρ - густина теплоносія.

Приймаємо:

- швидкість повітря у штуцері на вході $w_1 = 3 \cdot V_{кр(max)} = 8,1 \text{ м/с}$;

- швидкість повітря у штуцері на виході $w_2 = V_{кр(max)} = 2,7 \text{ м/с}$.

Тоді штуцер для входу повітря:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4,41}{0,785 \cdot 8,1 \cdot 1,044}} = 0,192 \text{ м},$$

приймаємо $d_1 = 200 \text{ мм}$.

Штуцер для виходу повітря:

$$d_2 = \sqrt{\frac{4,41}{0,785 \cdot 2,7 \cdot 1,044}} = 0,384 \text{ м},$$

приймаємо $d_2 = 400 \text{ мм}$.

3.6. Розрахунки апарату на міцність

3.6.1. Розрахунок обичайки, навантаженої внутрішнім надлишковим тиском

Розрахуємо товщину циліндричної обичайки апарату [4].

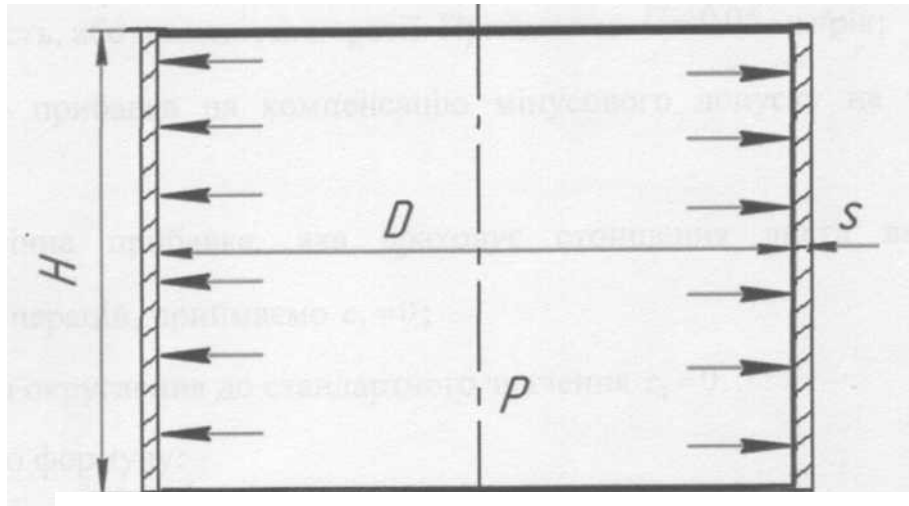


Рисунок 3.3. Схема до розрахунку циліндричної обичайки сушарки, навантаженої внутрішнім

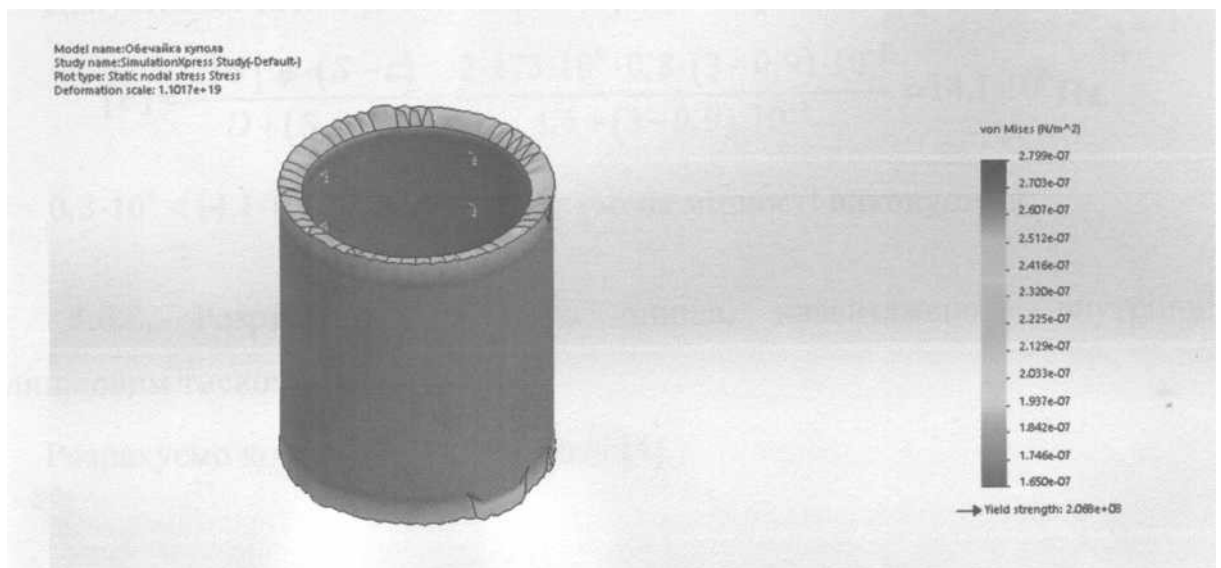


Рисунок 3.4.Епюра навантаження циліндричної обичайки

Товщина стінки обичайки визначається за формулою:

$$S = \frac{DP}{2[\sigma]\phi - P} + c ,$$

де P – робочий тиск;

$[\sigma]$ - допустиме напруження для сталі;

ϕ - коефіцієнт ослаблення зварного шва;

c – поправка до товщини стінки:

$$c = c_1 + c_2 + c_3 + c_4 = (0,5 + 0,4 + 0 + 0) \cdot 10^{-3} = 0,9 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

тут $c_1 = \Pi \cdot \tau = 0,05 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м},$

де Π – проникність, або швидкість корозії. Приймаємо $\Pi = 0,05 \text{ мм/рік};$

$c_2 = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ – прибавка на компенсацію мінусового допуску на товщині листа;

c_3 – технологічна прибавка, яка враховує стоншення листа внаслідок технологічних операцій, приймаємо $c_3 = 0;$

c_4 – прибавка на округлення до стандартного значення $c_4 = 0.$

Обрахуємо формулу:

$$S = \frac{DP}{2[\sigma]\phi - P} + c = \frac{1,5 \cdot 0,3 \cdot 10^6}{2 \cdot 173 \cdot 10^6 \cdot 0,8 - 0,3 \cdot 10^6} + 0,9 \cdot 10^{-3} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Приймаємо товщину обичайки $S = 3 \text{ мм}.$

Допустимий тиск з умови міцності розраховується за формулою:

$$[P] = \frac{2[\sigma] \cdot \phi \cdot (S - c)}{D + (S - c)} = \frac{2 \cdot 173 \cdot 10^6 \cdot 0,8 \cdot (3 - 0,9) \cdot 10^{-3}}{1,5 + (3 - 0,9) \cdot 10^{-3}} = 14,1 \cdot 10^6 \text{ Па}.$$

$0,3 \cdot 10^6 < 14,1 \cdot 10^6$, $P < [P]$, тому умова міцності виконується.

3,6.2. Розрахунок конічного днища, навантаженого внутрішнім надлишковим тиском

Розрахуємо конічне днище апарату [4].

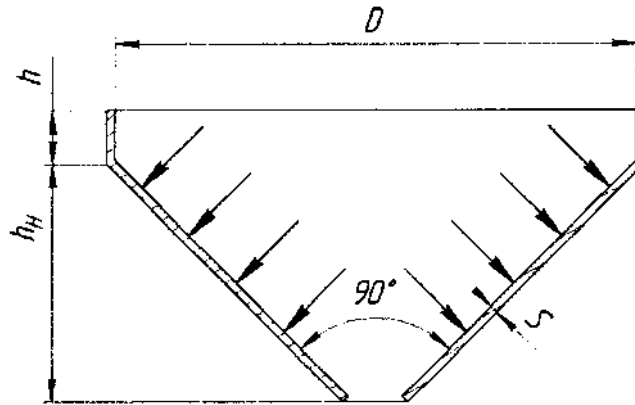


Рисунок 3.5, Схема до розрахунку конічного днища сушарки, навантаженого внутрішнім надлишковим

Model name: коническая обечайка
Study name: SimulationXpress Study-Default-1
Plot type: Static nodal stress Stress
Deformation scale: 8.17924e+18

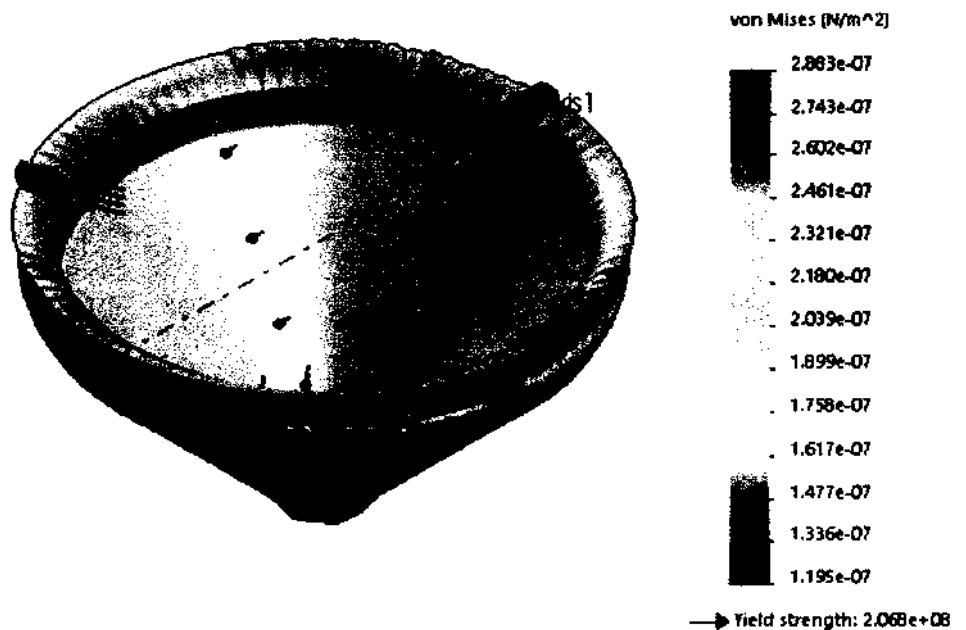


Рисунок 3.6.Епюра навантаження конічного днища

Товщина стінки конічного днища визначається за формулою:

$$S_k = \frac{D_{\text{кон}} P}{2[\sigma] \varphi - P} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_1} + c_k,$$

де $D_{\text{кон}} = D - 1,4 a_1 \sin \alpha_1 = 1500 - 1,4 \cdot 1,7 \sin 45^\circ = 1448 \text{ мм} = 1,448 \text{ м},$

гугт $\alpha_1 = 45^\circ,$

$$\text{коефіцієнт } a_1 = 0,7 \sqrt{\frac{D \cdot 10^{-3}}{\cos \alpha_1}} (s - c) = 0,7 \sqrt{\frac{1500 \cdot 10^{-3}}{\cos 45^\circ}} (3 - 0,9) = 1,7 \text{ мм.}$$

Тоді

$$S_\kappa = \frac{D_{\text{кон}} P}{2[\sigma] \phi - P} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_1} + c_\kappa = \frac{1448 \cdot 0,3 \cdot 10^6}{2 \cdot 173 \cdot 10^6 \cdot 0,8 - 0,3 \cdot 10^6} \cdot \frac{1}{\cos 45^\circ} + 0,9 = 3,9 \text{ мм,}$$

$$\text{тут } c_\kappa = c_1 + c_2 + c_3 + c_4 = (0,5 + 0,4 + 0 + 0) \cdot 10^{-3} = 0,9 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Приймаємо товщину днища $S_\kappa = 4 \text{ мм}$.

Допустимий тиск з умови міцності розраховується за формулою:

$$[P] = \frac{2[\sigma] \cdot \phi \cdot (S_\kappa - c_\kappa)}{\frac{D_\kappa}{\cos \alpha_1} + (S_\kappa - c_\kappa)} = \frac{2 \cdot 173 \cdot 10^6 \cdot 0,8 \cdot (4 - 0,9) \cdot 10^{-3}}{\frac{1,448}{\cos 45^\circ} + (4 - 0,9) \cdot 10^{-3}} = 30,3 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$0,3 \cdot 10^6 < 30,3 \cdot 10^6$, $P < [P]$, тому умова міцності виконується.

3.6.3. Розрахунок плоскої кришки, навантаженої внутрішнім тиском

Розрахуємо плоску кришку апарату.

Умова застосування формули наступна:

$$\frac{s - c}{D} \leq 0,1,$$

$$\frac{3 - 0,9}{1500} = 0,001,$$

$$0,001 \leq 0,1.$$

Дана умова виконується, тому можна застосувати наступні формули розрахунку плоскої кришки:

$$s_\kappa = K K_0 D \sqrt{\frac{P}{[\sigma] \phi}} + c_\kappa,$$

тут $K = 0,5$ - розрахунковий коефіцієнт, обирається з таблиці [5],

K_0 - коефіцієнт послаблення кришки отвором,

$$K_0 = \sqrt{1 + \frac{d}{D} + \left(\frac{d}{D}\right)^2} = \sqrt{1 + \frac{400}{1500} + \left(\frac{400}{1500}\right)^2} = 1,11,$$

$c_n = c_1 + c_2 + c_3 + c_4 = (0,5 + 0,4 + 0 + 1,7) \cdot 10^{-3} = 2,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ - прибавочний коефіцієнт.

Тоді

$$s_n = KK_0 D \sqrt{\frac{P}{[\sigma] \phi}} + c_n = 0,5 \cdot 1,11 \cdot 1,5 \sqrt{\frac{0,3 \cdot 10^6}{173 \cdot 10^6 \cdot 0,8}} + 1 \cdot 10^{-3} = 5 \text{ мм.}$$

Приймаємо товщину кришки $s_n = 5 \text{ мм.}$

Допустимий тиск з умови міцності розраховується за формулою:

$$[P] = \left(\frac{s_n - c_n}{KK_0 D} \right)^2 [\sigma] \phi = \left(\frac{(5-1) \cdot 10^{-3}}{0,5 \cdot 1,11 \cdot 1,5} \right)^2 173 \cdot 10^6 \cdot 0,8 = 1,79 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$0,3 \cdot 10^6 < 1,79 \cdot 10^6$, $P < [P]$, тому умова міцності виконується.

3.6.4. Перевірка розподілюючої решітки на міцність

Перевіримо обрану раніше розподілюючу решітку на міцність.

Допустимий тиск на круглій решітці визначимо за формулою:

$$[P] = \frac{\phi_0^2 [\sigma] s^2}{K^2 D^2},$$

тут ϕ_0 - коефіцієнт ослаблення решітки;

$K=0,12$ - допоміжний коефіцієнт, обирається в залежності від конструкції решітки.

Розташування отворів обрано шахове. При такому розташуванні коефіцієнт ослаблення решітки розраховується за

$$\phi_0 = \frac{1 - \frac{2d}{\sqrt{t^2 + t_1^2}}}{\sqrt{1 - 0,75 \left(\frac{t^2}{t^2 + t_1^2} \right)^2}} = \frac{1 - \frac{2 \cdot 4}{\sqrt{196 + 196}}}{\sqrt{1 - 0,75 \left(\frac{196}{196 + 196} \right)^2}} = 0,66,$$

тут $d = 4 \text{ мм}$ - діаметр отворів решітки;

$t = t_1 = 14 \text{ мм}$ - кроки отворів решітки.

Обрахуємо допустимий тиск:

$$[P] = \frac{\phi_0^2 [\sigma] s^2}{K^2 D^2} = \frac{0,66^2 \cdot 173 \cdot 10^6 \cdot 0,012^2}{0,12^2 \cdot 1,5^2} = 188,3 \text{ МПа.}$$

$0,3 \cdot 10^6 < 188,3 \cdot 10^6$, $P < [P]$, тому умова міцності виконується.

3.6.5. Перевірка несучої спроможності апарату під дією опорних навантажень

Обчислимо масу апарата. Вона складається з наступних складових:

- маса циліндричної обичайки:

$$M_{об} = 0,785 (D_s^2 - D^2) H \rho_{ст} = 0,785 (1,506^2 - 2^2) 2 \cdot 7900 = 289 \text{ кг,}$$

де H - висота циліндричної обичайки;

$\rho_{ст}$ - густина сталі, $\rho_{ст} = 7900 \text{ кг/м}^3$ [15];

D_s - зовнішній діаметр обичайки, $D_s = D + 2s = 1500 + 2 \cdot 3 = 1506 \text{ мм}$;

- маса плоскої кришки:

$$M_{кр} = 0,785 D^2 s_{кр} \rho_{ст} = 0,785 \cdot 1,5^2 \cdot 0,005 \cdot 7900 = 124 \text{ кг,}$$

- маса конічного днища:

$$M_{кн} = \rho \cdot V = 7900 \cdot 0,14 = 1106 \text{ кг,}$$

$$\begin{aligned} \text{Де } V &= \frac{\beta}{2} \left[s_{кр} a_1 (2R - a_1) + s_{кн} \left((R - a_1)^2 - r^2 \right) \right] = \\ &= \frac{3,14}{2} \left[4 \cdot 1,7 \cdot 10^{-6} (2 \cdot 1410 - 1,7) \cdot 10^{-3} + 4 \cdot 10^{-3} \left((1410 - 1,7)^2 \cdot 10^{-6} - 140 \cdot 10^{-3} \right) \right] = 0,14 \text{ м}^3, \end{aligned}$$

$$\text{гуг } R = \frac{D_{вн}}{2 \sin \alpha_1} = \frac{1,448}{2 \sin 45^\circ} = 1,41 \text{ м - радіус розгортки,}$$

$$r = \frac{d}{2 \sin \alpha_1} = \frac{0,2}{2 \sin 45^\circ} = 0,14 \text{ м - внутрішній радіус розгортки,}$$

$$R \cdot \beta = D_{кон} \Rightarrow \beta = \pi - \text{кут конусності.}$$

- маса допоміжного обладнання (завантажувальні та розвантажувальні пристрої, фланці штуцера, газорозподілююча решітка) приймається 30% від маси основних частин апарата.

Тоді повна маса апарата:

$$M = 1,3(M_{об} + M_n + M_k) = 1,3(289 + 124 + 1106) = 1975 \text{ кг.}$$

Вага апарата:

$$G = Mg = 1975 \cdot 9,8 = 19352 \text{ Н} \approx 19,3 \text{ кН.}$$

Приймаємо, що апарат встановлений на двох опорах. Тоді навантаження, що припадає на одну опору, становить:

$$Q_{оп} = \frac{G}{2} = \frac{19,3}{2} = 9,65 \text{ кН.}$$

Обираємо попр, що виготовляються з профільних труб за ГОСТ 1050-88 [19].

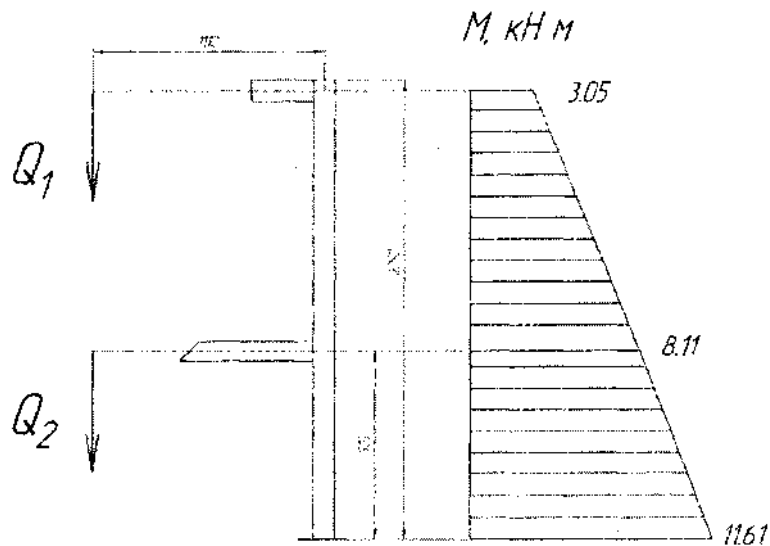
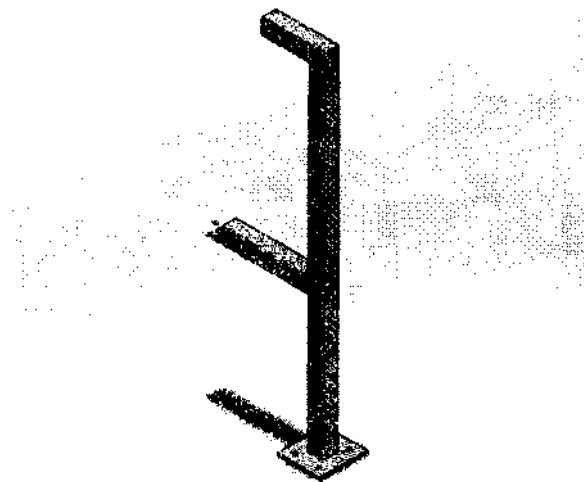


Рисунок 3.5 Схема навантаження опори



Максимальний згинаючий момент

$$M_{\max} = M_1 + M_2 = 3,5 \cdot 10^3 + 8,11 \cdot 10^3 = 11,61 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Де:

$$M_1 = \frac{Q_1 \cdot g}{2} l_1 = \frac{1.3(124 + 289)}{2} 9.8 \cdot 1.11 = 3.05 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

та

$$M_2 = \frac{Q_2 \cdot g}{2} l_2 = \frac{1.3(1106 + 42)}{2} 9.8 \cdot 1.11 = 8,11 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Умова міцності:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W} \leq [\sigma]$$

де: $[\sigma]$ – допустиме напруження:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_t}{n_t} = \frac{250}{1.5} = 1.667 \text{ МПа}$$

σ_t - границя текучості

n_t – запас міцності

Тоді:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{11,61 \cdot 10^3}{69,6 \cdot 10^{-3}} = 160,8 \cdot 10^6 \leq [\sigma] = 166,7 \cdot 10^6$$

Умова виконується .

4. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

4.1 Резюме

Однією з найважливіших стадій виробництва ліків є стадія сушки таблетмаси, що гарантує подальшу якість таблеток. Перед стадією формування готових таблеток, таблетмаса повинна бути висušена до необхідної вологості, що дозволить сформувати таблетку та забезпечить її подальшу міцність.

Актуальністю даної теми є те, що одним з найбільш ефективних і продуктивних методів сушіння грануляту таблетмаси є оброблення у газодинамічному киплячому шарі, що створюється вхідним потоком повітря, потрібної вологості. Цей метод реалізується у відповідних апаратах для сушки в киплячому шарі.

Такий метод є найбільш оптимальним завдяки рівномірності сушки грануляту та інтенсивності масообміну в киплячому шарі.

Мета наукової розробки: покращення технологічної схеми виробництва, і як наслідок підвищення швидкості виробництва і якості, технічне рішення для подальшої автоматизації.

Головною метою наукової розробки є отримання прибутку за рахунок виробництва і реалізації конкурентоспроможної продукції.

Тема: Удосконалення тепломасообмінних процесів у сушарці киплячого шару.

Назва: Сушарка киплячого шару.

Проектом передбачається створення підприємства з виготовлення обладнання, а саме сушарок киплячого шару, яке буде працювати на території м. Києва.

Суб'єкт замовлення: юридична, фізична особа або фізична особа підприємця.

Об'єкт дослідження: інноваційна продукція.

Основними факторами, які вплинули на вибір даного напрямку і виробництва є:

- наявність сировинної бази в країні;
- наявність попиту на прокцію;
- бажання суспільства користуватися Українською продукцією, для налагодження бюджету країни;
- розробка більш економічної продукції для користувачів.

Розглянемо місце розробки в інноваційному ланцюжку цінностей (елементи ланцюжка споживчої цінності інноваційного ПРОДУКТУ)

Види цінності ІП	Характеристика зони цінності	Кінцева цінність для споживача
Цінність володіння	Придбання ІП, що має переваги перед імпортними продукціями	Можливість мати ІП з новими поліпшеними характеристиками (В інноваційний состав

		продукту планується ввести особливий елемент, що перешкоджає розвитку бактерій в підгузку, що стане перевагою перед підгузниками інших виробників.)
Цінність місця	Зручність і близькість до споживача	Можливість придбання продукту в зручному / потрібному місці
Цінність якості	Відмінне виконання ІП свого призначення	Можливість отримання ІП вищої якості

Даний бізнес-план розглядає 2 перших роки роботи підприємства.
Загальні інвестиції в проект: 15 000 000 грн (інвестовані кошти)

ЦІЛЬ ПРОЕКТУ

Організація заводу з виготовлення сушарок киплячого шару :

- Задоволення попиту населення якісного продукту;
- Створення нових робочих місць;
- Отримання прибутку від діяльності;
- Створення нових потоків надходжень до державного та місцевих бюджетів.

ОСНОВНІ ВИМОГИ ПРОЕКТУ:

Продукт- сушарка киплячого шару

Технологія- RDF технології

Кваліфікація персоналу - всі категорії персоналу — спеціалісти; службовці, робітники

Конкурентні переваги :

- зниження витрат на просування на ринку
- підвищення впізнаваності ТМ
- зниження залежності від ритейлу
- підвищення рівня рентабельності продукції
- можливість підвищення ефективності трейд-маркетингових акцій
- вищу прогнозованість рівня продажів, а отже спрощення управління товарно-сировинними запасами

Фінансова оптимізація:

- Використовуючи легальні способи зниження податкових витрат, знижуємо ціну для споживача і отримуємо більш високу рентабельність [
- Використовуючи особливості подвійний моделі дистрибуції і особливі трейд-маркетингові ходи, можна в кілька разів знизити вартість просування на ринку
- Використовуючи інновації в продукції і «комунікативний» маркетинг, ми на кілька порядків знижуємо вартість реклами продукції в порівнянні зі звичайною рекламою на ТБ, на національних каналах.

Умови та припущення:

Для прогнозування фінансових потоків були прийняті наступні припущення:

1. Ініціатор проекту орендує територію загальною площею 950 кв.м., яке відповідає умовам і дає можливість облаштувати склади і робочий комплекс;
2. Прямі інвестиції в сумі - 15 000 000 гривень (інвестовані кошти);
3. Підприємство буде на загальній системі оподаткування з ставкою 18% від прибутку (ПДВ - 20%); Очікувана рентабельність - 30 %.
4. Чисельність персоналу - 80 осіб.
5. Окупність капіталовкладень- 1,5-2 роки

Висновок: Проект заводу є високостабільним, генерує достатній рівень доходів, тому інвестування в нього є обґрунтованим і економічно доцільним. Проект можна класифікувати як прибутковий і ефективний з невисоким рівнем ризиків, перспективний для розвитку і вигідний для капіталовкладень.

4.2. Аналіз зовнішнього та внутрішнього середовища

Підприємство в процесі свого функціонування і розвитку як відкрита система постійно відчуває вплив зовнішнього середовища. Результати і ефективність діяльності підприємства в значній мірі визначаються його зовнішнім середовищем.

До зовнішніх факторів відносяться: географія, демографія, політика, економіка, культура та науково-технічний прогрес (НТП).

Всі ці фактори і їх вплив на підприємство розглянуто в таблиці 3.

Зовнішнє середовище

Загрози	Можливості
Географія	
Через розміщення виробництва в м. Києві заробітна плата персоналу вища ніж в інших регіонах.	Виробництво знаходиться в столиці, що дає можливість постачати продукцію на первонаочальний ринок збуту без довготривалої та вартісної доставки.
При залученні працівників з ближніх міст/сіл/СМТ необхідно забезпечувати трансфер.	Виробництво позитивно впливає на обсяги продажу вітчизняної сировини.
Виробництво витрачає електроенергію що має негативний вплив на екологію.	Поряд з м. Києвом знаходиться багато міст/сіл/СМТ, жителі яких зацікавлені в роботі в столиці.
Виробництво продукує шкідливі викиди (навіть при очистці відходів, що є вартісним), що погано впливає на екологію.	В столиці розташовано більше постачальників сировини.
Демографія	
З кожним роком більше людей прагнуть працювати закордоном.	Можливість залучити на виробництво студентів 4 і 5 курсів.
Збільшення пенсійного віку	Зменшення рівня безробіття за рахунок збільшення вакантних робочих місць.
Жителі столиці менш схильні працювати на заводах.	Збільшення рівня освіти шляхом залучення студентів и набуття ними додаткових теоретичних та практичних знань.
Політика	
Складність отримання необхідних сертифікатів на виготовлення	Держава зацікавлена в залученні зарубіжного капіталу при продажу

обладнання	продукції закордон
Проблеми з митом при продажі продукції закордон	Держава зацікавлена в стимулюванні розвитку ідею, створеної на базі державної установи
Економіка	
Вартість сировини досить висока через економічну ситуацію в країні.	Встановлення цін у доларах США щоб убезпечити себе від падіння гривні.
Через нестабільну економіку можуть виникнути проблеми з отриманням капіталовкладень від держави.	Придбання вітчизняної продукції більш вигідно ніж імпоротної
Ринок може не “впустити” конкурента	Через заборгованості держава зацікавлена у розробках і продажу на базі державних установ
Культура	
Для людей є більш привабливим працювати в офісі ніж на заводі	Люди зацікавлені в роботі на базі державних підприємств (пенсія)
Навчання на гуманітарні науки є більш поширене ніж на технічні	Через нехватку персоналу процеси можна автоматизувати
Для амбіційних випускників ВНЗ робота на заводі може здатись не досить престижною	
НТП	
Деякий персонал потрібно перекваліфіковувати	Рівень випускників українських ВНЗ досить високий для того щоб наймати їх без досвіду роботи

Внутрішнє середовище підприємства визначає технічні та організаційні умови роботи підприємства і є результатом управлінських рішень. Метою аналізу внутрішнього середовища підприємства є виявлення слабких і сильних сторін його діяльності, так як, щоб скористатися зовнішніми можливостями, підприємство повинно мати певний внутрішній потенціал. Одночасно треба знати і слабкі місця, які можуть погіршити зовнішню загрозу і небезпеку. До факторів внутрішнього середовища належать постачальники, виробництво, конкуренти, посередники, споживачі (табл. 4).

Внутрішнє середовище

Переваги	Недоліки
Постачальник	
Великий вибір постачальників сировини.	Дефіцит компаній, які б задовольняли потреби підприємства.
Можливість покупки продукції яка використовується для харчової або хімічної промисловості але	Підвищення ціни на сировину

задоволення потреби мого підприємства.	
Зацікавленість постачальників у підтриманні вітчизняного підприємства	Дефіцит компаній, які виготовляють дану продукцію.
	“Відмови” через нестандартний виріб.
Виробництво	
Одноразове переобладнання комунікацій.	Переобладнання комунікацій для подачі теплоносія.
Очистка води і передача її на інші етапи виробництва.	Залучень більшої кількості працівників, що призводить до більших витрат на ЗП.
Конкуренти	
Одні на ринку.	Підприємства більш схильні використовувати перевірені торгові марки.
Покупка іншими компаніями прав на використання інновації.	Одні на ринку.
	При покупці іншими підприємства прав на використання інновації зменшення ринку збуту.
Споживачі	
Можливість розширення закордонного ринку.	Вузький ринок збуту.
Ринок збуту досить вузький, що не понесе великих втрат на промоцію.	Не всі споживачі зацікавлені в покупці інновації.
Можливість розширити ринок збуту	Витрати на промоцію.
Посередники	
Використання старих посередників.	Відсутність бази посередників.
Ціна на продукцію нижча ніж на аналоги.	Старі посередники можуть відмовитися працювати з новим товаром
	Посередники збільшую ціну продукції.

Отже, провівши аналіз зовнішнього і внутрішнього середовища виявлені слабкі і сильні сторони підприємства. Обидва середовища мають як і слабкі так і сильні сторони. Аналіз показує в якому напрямку треба рухатися для успішного управління підприємством. При правильній організації функціонування підприємства необхідно спиратися на позитивні фактори і намагатися мінімізувати вплив негативних.

4.2.1 Аналіз потенційного ринку збуту

Основними конкурентами є вітчизняні підприємства з багаторічним досвідом. Зважаючи на те, що продукція мого підприємства має нижчу ціну і використовує інноваційну технологію, вона може чинити конкуренцію очевидним лідерам на ринку.

Фармацевтична промисловість - одна з найбільш розвинутих, має гарні перспективи розвитку, саме тому можна прогнозувати перспективи розвитку, шляхом збільшення обсягів опродажу.

Аналіз конкурентного середовища за методом квадрату Бове

Для аналізу конкурентного середовища за методом квадрату Бове обрано наступні підприємства-конкуренти:

1. «Glatt»;
2. Сушилки/охладители с псевдооживленным слоем;
3. «ФармМедОборудование»;
4. «Diosna GmbH»;
5. *Запропонована інновація*

«Glatt»	«Diosna GmbH»
«ФармМедОборудование» <i>Запропонована інновація</i>	Сушилки/охладители с псевдооживленным слоем

За методом квадрату Бове запропоновану продукцію можна віднести до групи “Готові обійти”, тому що завдяки інноваційній ідеї підприємство зможе конкурувати з лідерами ринку.

4.2.2. Місце розробки у системі цінностей за методом Бостонської матриці

№	Підприємство	Обсяг реалізації, грн	Обсяг прибутку, грн
1	«Glatt»	25 000 000	7 900 000
2	Сушилки/охладители с псевдооживленным слоем	4 200 000	1 200 000

4	«ФармМедОборудование»	12 500 000	4000000
5	«Diosna GmbH»	21 000 000	6 300 000
6	Запропонована інновація	18 000 000	5 400 000
Разом		80 700 000	24 800 000

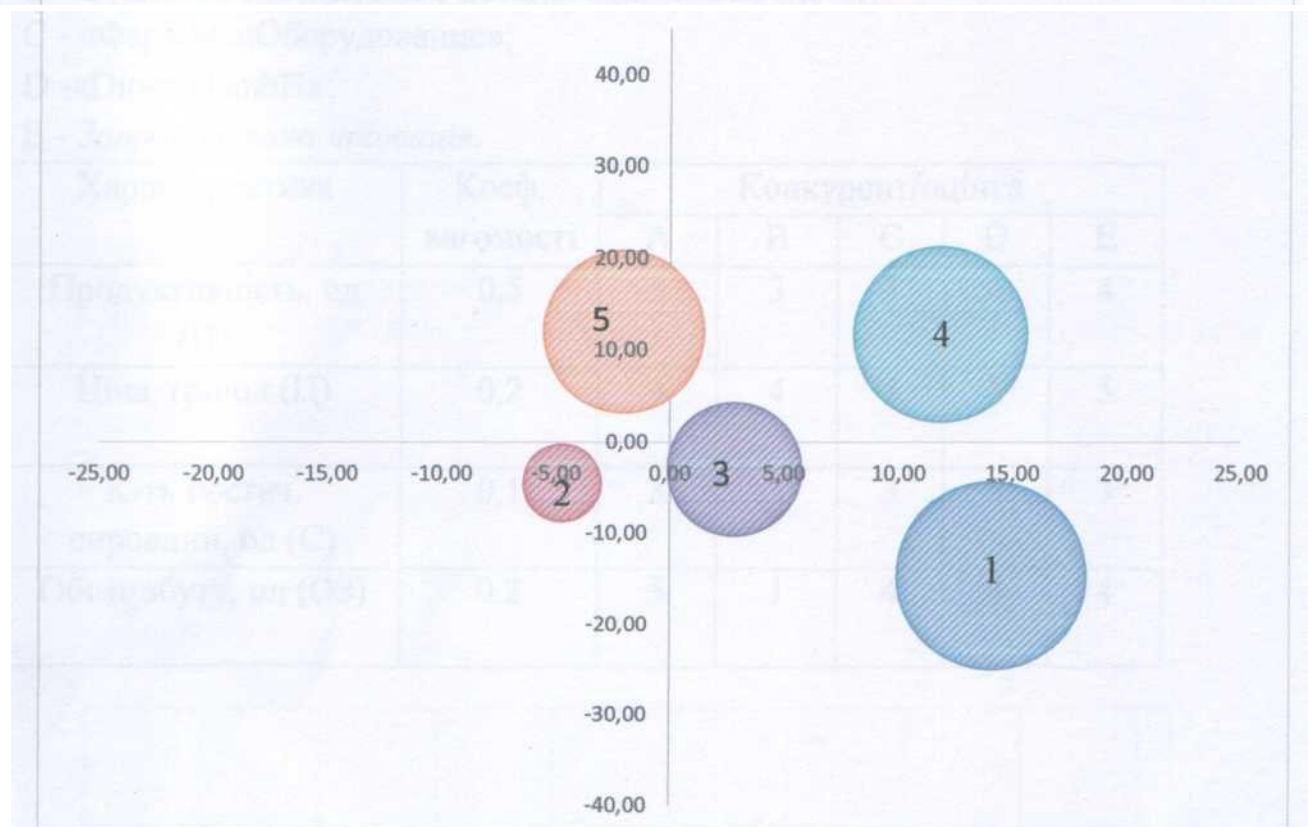


Рис. 4.1. Матриця БКГ

Отже, за результатом аналізу за методом Бостонської матриці видно, що запропонована інновація знаходиться на перетині зон “Важкі діти” та “Зірки”. Отже, підприємство знаходиться на зростаючому ринку, але вимагає інвестиційних вкладень для збільшення конкурентоспроможності, перспективним товаром.

4.3. Ключові фактори успіху проекту

Використовуючи метод Шонфільда будуємо таблицю підприємств та показників, за якими визначатимуться ключові фактори успіху проекту.

A - «Glatt»;

B - Сушилки/охладители с псевдоожиженным слоем;

C - «ФармМедОборудование»;

D - «Diosna GmbH»;

E - Запропонована інновація.

Характеристика	Коеф. вагомості	Конкурент/оцінка				
		A	B	C	D	E
Продуктивність, од (П)	0,5	5	3	3	4	4
Ціна, грн/од (Ц)	0,2	4	4	5	3	5
К-ть постач. сировини, од (С)	0,1	3	3	3	4	3
Обсяг збуту, од (ОЗ)	0,2	5	1	4	4	4

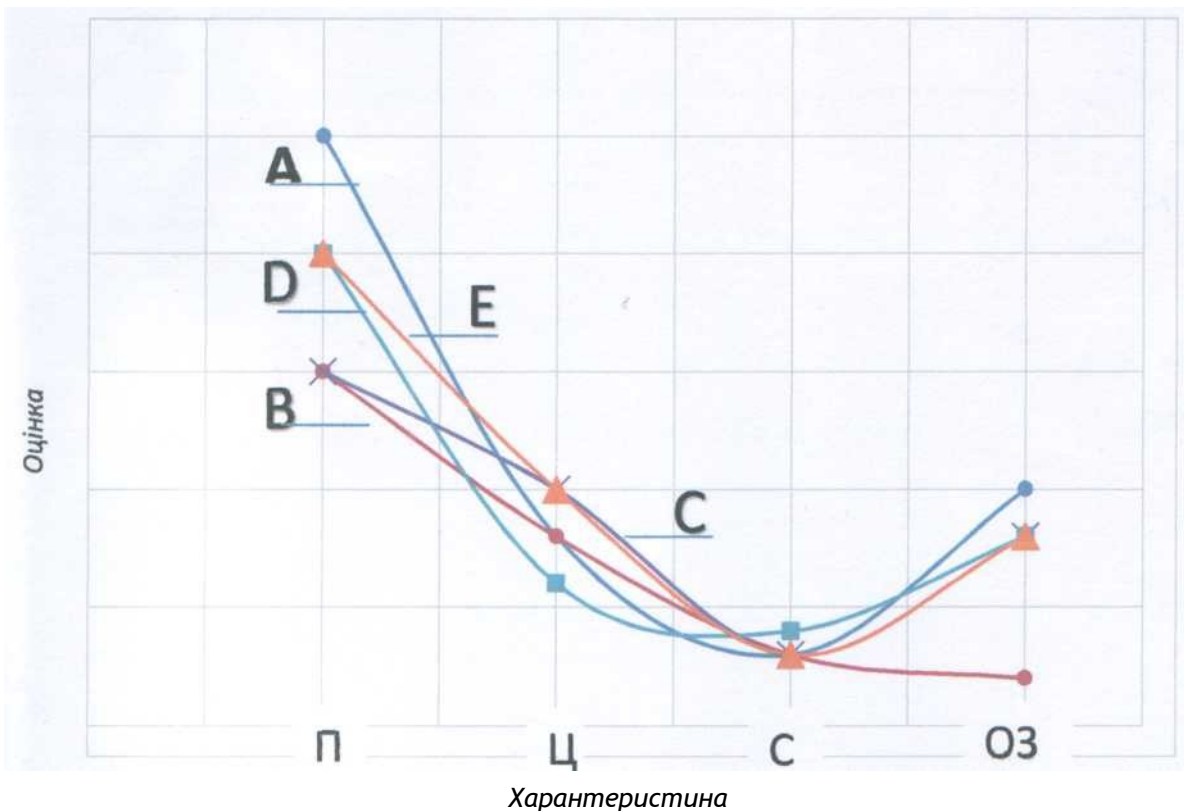


Рис 4.2. Метод Шонфільда

Отже, провівши оцінку і порівняння конкурентів можна зробити висновок, що ключовим фактором моєї інноваційної продукції є ціна. Завдяки впровадженню мого виробництва, буде надання висока якість продукції за доступною ціною.

4.3.1. Анкета для споживачів

Анкета - інструмент для збору даних з метою підтвердження певної інформації. Анкетування використовується для забезпечення багатофакторності, швидкості отримання результатів і ефективного використання коштів.

Цілі проведення анкетування.

1. Зафіксувати впізнаваність компанії та бренду продукції на досліджуваних ринках.
2. Виявити споживчі переваги і фактори прийняття рішень.
3. Визначити коло основних конкурентів.
4. Визначити основні джерела інформації про продукцію.
5. Підготувати план комплексу заходів щодо підвищення впізнання і лояльності до компанії та бренду.

АНКЕТА

1. Чи готові Ви придбати обладнання у підприємства, яке щойно вийшло на ринок або віддаєте перевагу лідерам галузі?

- ☐ Готовий (-а)
- ☐ Не готовий (-а)

2. Яке значення для Вас має якість висушування таблемаси для перехочу на іншу стадію виробництва?

- ☐ Важливо
- ☐ Не важливо

3. Відмітьте, будь ласка, які фактори мають ключове значення для Вашого підприємства.

- ☐ Продуктивність
- ☐ Ціна
- ☐ Інноваційність продукту
- ☐ Перевіреність виробника
- ☐ Ваш варіант _____

4. Звідки Ви найчастіше отримуєте інформацію про обладнання та новинки на ринку?

- ☐ Інтернет
- ☐ Каталоги товарів
- ☐ Виставки або конференції
- ☐ Ваш варіант _____

5. У порядку спадання вкажіть чим Ви керуєтесь при виборі ТОВ?

Ціна

Популярність марки

Країна виробника

Якісні

характеристики

4.4. Оцінка ринкових позицій інноваційної розробки

4.4.1. Анкета

1. Яка адміністративно-територіальна одиниця країни на Вашу думку є найкращим місцем для успішного бізнесу?

- ☐ Столиця
- ☐ Місто
- ☐ Село
- ☐ Селище
- ☐ Немає думки

2. Як Ви оцінюєте роботу місцевої влади у сприянні виходу підприємства на ринок?

- ☐ Відмінно
- ☐ Добре
- ☐ Задовільно
- ☐ Погано
- ☐ Немає думки

3. Наскільки є ефективною робота влади щодо розвитку інноваційного потенціалу міста, зокрема оцініть якість перелічених послуг.

Послуга	Відмінно	Добре	Задовільно	Погано
Співробітництво з іншими регіонами/країнами				
Розвиток інфраструктури (транспортна, складська, дистрибуторська)				
Забезпечення прозорості податкових процедур				
Доступ до необхідної інформації				
Надання адміністративних послуг пов'язаних з виходом на ринки				
Покращення доступу до капіталу для підприємств				

4. Яка, на Вашу думку, роль влади в розвитку інноваційного потенціалу місцевого бізнесу?

Послуги, які необхідно впроваджувати	Повністю	Скоріше	Скоріше не погоджуюсь	Не погоджуюсь
Прозорі механізми у інноваційній сфері				
Прозорі механізми у податковій сфері				
Якісні адміністративні послуги				
Фінансові стимули для виходу на				
Розвиток робочої сили				
Маркетингова підтримка				
Консультативний супровід				

5. Які з факторів мають найбільш негативний вплив на розвиток експортного потенціалу Вашого бізнесу?

Внутрішня конкуренція	
Загальна економічна ситуація	
Застарілі засоби виробництва	
Витрати на енергію	
Низький рівень співпраці влади та бізнесу	
Складність сертифікації продукції	
Нестача кваліфікованих працівників	
Недостатність фінансування	
Адміністративний тиск з боку влади	

6. Чи відчуваєте Ви брак кваліфікованих працівників для здійснення експорту Вашим підприємством?

- ☐ Так
- ☐ Очікуємо в найближчому майбутньому
- ☐ Ні

7. Чи Маєте Ви чіткий опис того, хто є покупцем Вашої продукції?

- ☐ Так
- ☐ Ні
- ☐ Частково

8. Чи готові Ви розробити стратегію створення іміджу Вашого продукту та підприємства?

- ☐ Так
- ☐ Ні.
- ☐ Частково

9. Чи готові Ви розробити стратегію ціноутворення ?

- ☐ Так
- ☐ Ні
- ☐ Частково

10. Чи лотові Ваші співробітники супроводжувати зовнішні угоди та вести переговори?

- ☐ Так

- ☐ Ні
- ☐ Частково

11, Чи обізнані Ви з каналами дистрибуції на потенційних зовнішніх ринках?

- ☐ Обізнаний
- ☐ Необізнаний

12. Чи проводилась перевірка назви продукту (торгівельної марки) з метою попередження порушення прав інтелектуальної власності чи законодавства про захищені назви та географічні спеціалізації?

- ☐ Так'
- ☐ Ні
- ☐ Частково

13. Чи досліджені принципи маркування товару, що продається кінцевому користувачу?

- ☐ Так
- ☐ Ні
- ☐ Частково

4.4.2. Договір на виконання науково-дослідної роботи

ДОГОВІР № _____ на виконання науково-дослідних робіт

м. Київ

“ _____ ” _____ 20__ р.

ТОВ «Запропонована інновація.», в особі директора Ходунько Олени Валеріївни, діючого на підставі Статуту, далі – **Виконавець і Замовник**: _____, в особі _____ діючого на підставі _____, уклали договір про наступне.

1. Предмет договору

1.1. Замовник доручас, а Виконавець бере на себе зобов'язання провести за завданням Замовника наукові дослідження:

найменування наукової теми

а Замовник зобов'язується прийняти виконану роботу та оплатити її.

1.2. Наукові, технічні, економічні та інші вимоги до наукової продукції, що є предметом договору, визначаються Технічним завданням, яке є невід'ємною частиною цього договору

1.3. Термін здачі робіт за договором « _____ » _____ 20__ р.

1.4. Зміст, терміни виконання основних етапів визначаються Календарним планом, що є невід'ємною частиною цього договору.

1.5. Прийняття та оцінка наукової продукції здійснюються відповідно Технічному завданню.

1.6. Виконані за договором наукові дослідження є власністю Замовника з урахуванням того, що права винахідника охороняються патентним законодавством, а права автора – авторським правом. При використанні інших додаткових джерел фінансування право сторін на створену продукцію погоджується сторонами в додатковій угоді.

1.7. Виконавець може використовувати результати теми для власних потреб з науковою метою, а для отримання прибутку лише за умов, визначених додатковою угодою.

2. Вартість робіт та порядок розрахунків

2.1. Вартість наукової роботи визначається календарним планом та складає

_____ тис. грн. _____ в т.ч. ПДВ _____

сума в гривнях прописом

відповідно до Протоколу узгодження вартості науково-технічної роботи.

Без ПДВ (згідно із ст. 197.1.22. Податкового Кодексу України).

Планова калькуляція кошторисної вартості робіт та розрахунки витрат за статтями наведені у Додатку.

2.2. Оплата за кожний етап проводиться у такі терміни:

а) у строк до 10 календарних днів Замовник оплачує Виконавцю 50% від загальної суми етапу.

б) 50% від загальної суми цього етапу перераховується Виконавцю Замовником у

строк до 3 банківських днів після підписання акту прийому-передачі.

2.3. Остаточний розрахунок за кожним етапом здійснюється після здачі роботи за актом прийому-передачі в термін 3 банківських днів зі дня його підписання.

3. Порядок та строки здавання і приймання робіт

3.1. Перелік наукової, технічної та іншої документації, що підлягає оформленню та здаванню Виконавцем Замовнику на окремих етапах виконання і по закінченню договору, визначається технічними завданням, що є частиною договору (додаток).

3.2. Виконання проміжних етапів оформлюється Виконавцем актами здачі-приймання, які направляються Замовнику відповідно до календарного плану.

3.3. При завершенні робіт Виконавець подає Замовнику акт здачі-приймання наукової продукції з додаванням до нього комплексу наукової, технічної та іншої документації, передбаченої технічним завданням та умовами договору.

3.4. Замовник протягом 5 робочих днів з дня отримання акту здачі-приймання робіт та звітних документів, зазначених у п. 3.3 цього договору, зобов'язаний надіслати Виконавцю підписаний акт здачі-приймання наукової продукції або мотивовану відмову від приймання робіт.

3.6. У разі дострокового виконання робіт Замовник має право достроково прийняти та оплатити їх за ціною, що вказана в договорі.

3.7. Якщо в процесі виконання роботи з'ясовується недоцільність подальшого її проведення, Виконавець повинен призупинити роботу та повідомити про це Замовника протягом 5 робочих днів після її призупинення. Після повідомлення сторони повинні протягом 10 днів розглянути питання про доцільність продовження роботи. Відповідне рішення оформлюється Протоколом сторін.

4. Відповідальність сторін

4.1. За невиконання або неналежне виконання зобов'язань за цим договором Виконавець та Замовник несуть відповідальність згідно з чинним законодавством.

4.2. В разі виникнення форс-мажорних обставин Замовник зобов'язаний надіслати письмове повідомлення виконавцю не пізніше 15 днів з моменту їх виникнення.

4.3. Науково-дослідна робота виконується за відкритим планом, без обмежуючих грифів.

4.4. Якщо відповідний спір не можливо вирішити шляхом переговорів, він вирішується у Господарському суді Одеської області.

5. Інші умови

5.1. За згодою сторін зміст пунктів технічного завдання, термін дії Договору або етапів Календарного плану, а також вартість робіт за договором (в тому числі при несвоєчасному отриманні Виконавцем фінансування на виконання цієї роботи) можуть бути змінені в процесі виконання роботи, що оформлюється додатковою угодою, яка є невід'ємною частиною Договору. Внесення змін до калькуляції кошторисної вартості проводиться за 30 днів до початку наступного етапу на підставі додаткової угоди до цього Договору.

5.2. Інші умови за розсудом сторін

6. Термін дії договору та юридичні адреси сторін

6.1. Договір набирає чинності з моменту підписання і діє до «___» _____ 20__р.

6.2. Юридичні адреси і банківські реквізити.

4.4.3 Джерела фінансування НДР

Джерелами фінансових ресурсів підприємства можуть бути:

- власні фінансові кошти і внутрішньогосподарські резерви;
- позикові фінансові кошти;
- залучені фінансові кошти, одержані від продажу акцій, пайових та інших внесків членів трудових колективів, громадян, юридичних осіб;
- кошти, що перебувають у централізованому володінні об'єднань підприємств;
- кошти позабюджетних фондів;
- кошти Державного бюджету;
- кошти іноземних інвесторів.

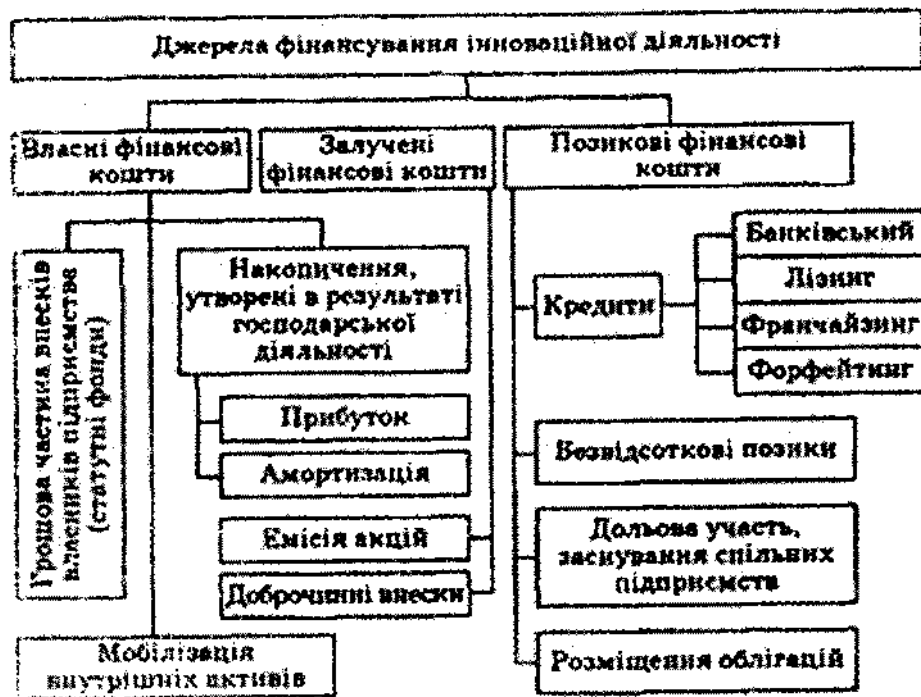


Рис. 4.3. Детальна схема можливих джерел фінансування НДР

Враховуючи, що обрана інновація може використовуватися як у приватних, так і у державних підприємствах - потенційними джерелами фінансування можуть виступити:

- Грошова частина внесків власників інновації

- Доброчинні внески
- Банківські кредити
- Приватні та державні інвестиції

В нашому випадку джерелами інвестування науково-дослідних розробок виступають незалежні інвестори.

4.4.4 Розрахунок техніко-економічних показників

Сировина і матеріали	5 000 000 грн
Вартість приміщення	1 600 000 грн
Вартість обладнання	5 000 000 грн
Нематеріальні активи	600 000 грн
Інше	20 000 грн
Амортизація	228 750 грн
Заробітна плата персоналу (+ нарахування 22%)	880 900 грн
Разом собівартість	13 329 650 грн

Річна собівартість продукції:

$$C = O_{63} + A = 13\,329\,650 \text{ грн/рік.}$$

Собівартість одиниці продукції (упаковка з кількістю підгузків 66 од):

$$C_{\text{од}} = \frac{C}{B} = \frac{13\,329\,650}{83\,000} = 160,59 \text{ грн/од.}$$

Запланована ринкова ціна (за конкурентним методом) одиниці продукту:

$$Ц = 270 \cdot 83\,000 = 22\,410\,000 \text{ грн.}$$

Прибуток:

$$П = Ц - C = 9\,080\,350 \text{ грн/рік.}$$

Капіталовкладення:

$$K = 15\,000\,000 \text{ грн.}$$

Рентабельність продукту:

$$P = \frac{П}{C} \cdot 100\% = 68,1\%.$$

Період повернення капіталовкладень:

$$T = \frac{K}{П} = \frac{15\,000\,000}{9\,080\,350} = 1,65 \approx 2 \text{ роки.}$$

4.4.5. Розрахунок ціни інноваційної пропозиції

Для того, щоб розрахувати собівартість продукції необхідно визначити всі витрати, які мають місце в процесі виробництва. Підприємство буде витрачати кошти на придбання матеріалів і сировини, виплату заробітної плати основним виробничим робітникам, оплату витраченої електроенергії, а також нести додаткові витрати, пов'язані з організацією та здійсненням діяльності підприємства. Собівартість складає

13 329 650 грн/рік.

Далі визначимо ціну інноваційного продукту. Розрахунок ціни буде виконуватись за наступними методами:

- витратний;
- агрегатний;
- параметричний;
- конкурентним;
- методом точки беззбитковості.

а) Витратний метод

В основі цього методу лежить ідея розрахунку собівартості товару як головної складової ціни. В товарно-грошових умовах собівартість продукції містить у собі всі існуючі витрати, які необхідні на виробництво і збут товару, які зроблені за рахунок підприємства. Однак існують такі витрати, які пов'язані з виробництвом товару, але не відносяться до собівартості, тому що фінансуються за рахунок прибутку, спеціальних фондів,

$$Ц = С + \%П$$

$$Ц = 160,59 + 20\% = 193 \text{ грн.}$$

б) Агрегатний метод

Суть агрегатного методу полягає в підсумовуванні цін окремих частин виробів, що входять до параметричного ряду, а також додаванні нормативному прибутку. Цей метод застосовують, якщо ціни різних елементів виробу відомі, відтак сукупна ціна продукції обчислюється як їхня сума.

$$П = П_1 + П_2 + \dots + П_n$$

в) Параметричний метод.

Даний метод полягає у тому, що ціна товару визначається з оцінки та співвідношення якісних параметрів виробу.

При встановленні ціни цим методом товаровиробник повинен проаналізувати якість свого товару з якістю товарів у конкурентів.

$$Ц = Ц_{бв} \cdot \frac{СБ_в}{СБ_{бв}} = 300 \cdot \frac{16,75}{16,5} = 304,55 \text{ грн}$$

$Ц_{бв}$ – ціна базового виробу;

$СБ_в$ – сума балів запропонованого мною виробу;

$СБ_{бв}$ – сума балів базового виробу.

г) Метод точки безбитковості

Метод заснований на розрахунках сукупних витрат підприємства і її сукупного доходу, одержаного в результаті реалізації різних обсягів виробленої продукції. Метод потребує розгляду різних варіантів ціни, і визначення їх впливу на обсяги збуту, необхідного для подолання рівня безбитковості.

$$Ц = \frac{A + 0,63 \cdot B}{B} = \frac{228\,750 + 13\,100\,900 \cdot 83\,000}{83\,000 \cdot 83\,000} = 157,84 \text{ грн.}$$

д) Метод конкурентних цін

Метод використовують підприємства, які виходять виключно з умов конкуренції і встановлюють ціну ледве вище або нижче, ніж конкуренти. Застосовується цей метод на ринку, де продаються однорідні товари в умовах чистої конкуренції. Ціни на ньому формуються в результаті спільних дій добре інформованих продавців і покупців, в цих умовах продати товар за вищою ціною не є можливим, в той же час не потрібно встановлювати і нижчу оскільки товари можуть бути реалізовані і по цій, прийнятною ринком, ціни.

Оцінивши ринкові ціни на аналогічну продукцію мною було вирішено встановити ціну в розмірі 270 грн

Для запропонованого підприємства мною був обраний метод конкурентних цін. При такому методі ціноутворення ціна є вище середнього (порівнюючи всі розглянуті методи), але забезпечує гарні показники для підприємства:

- прибуток у розмірі 9 080 350 грн/рік;
- термін повернення капіталовкладень ~ 2 роки.

4.5. Оцінка ризиків та страхування розробок: перелік ризиків інноваційної розробки, ймовірність їх настання, вплив на очікуваний результат, методи страхування

Під факторами ризику розуміють деякі обставини, які можуть спричинити появу значущих для підприємства ризикових подій. Взагалі ризик часто визначається як можливість виникнення ризикової події. Як ризикові події для підприємства розглядають коливання величини ціни на його продукцію (послуги), поточних витрат, капіталовкладень, кредитних ставок, обсягу виробництва. Саме в ризикових подіях "акумулюються" для підприємства розглянуті вище фактори ризику.

Як технічні ризики можна розглядати помилки в проектуванні, неправильний вибір технології та обладнання, їх недосконалість, неточне визначення масштабу виробництва, відносно підвищення витрат на окремі "компоненти", що використовує підприємство, - робочу силу, обладнання, виробничі приміщення, землю тощо.

У рамках розроблення маркетингового плану факторами ризику виступають вибір продукції (послуг) без врахування потреб ринку, низької якості, морально застарілих, неправильний вибір ринків збуту при просуванні товару на ринку, відсутність мережі збуту, наявність нереалізованої продукції, зміни в потребах споживачів, затримки у виході на ринок з новою продукцією (послугами) тощо. Найбільш суттєвими наслідками дії маркетингових факторів ризику є те, що продукція підприємства не знайде збуту в необхідному вартісному відображенні і в зазначені терміни.

Організаційний план має передбачати оцінку правової, політичної і адміністративної ситуації, в рамках якої працює підприємство. Для забезпечення успішної роботи підприємства суттєвим, за певних обставин, є також ставлення місцевої влади та населення.

При проведенні екологічного аналізу фактором ризику, безпосередньо пов'язаним з правовими (чинне законодавство) і технічними (вибране обладнання і технологія) аспектами роботи підприємства, виступає можливість подальшої зміни законодавства в частині вимог до обсягу і складу викидів забруднюючих речовин. Можливими також є зміни у відношенні до підприємства органів місцевої влади та населення через наявну і потенційну

екологічну небезпечність проектів, що впроваджує підприємство. Наслідками екологічних ризиків виступають аварії на підприємстві, тимчасове чи повне зупинення випуску певних різновидів продукції або послуг і, навіть, зупинення всього підприємства.

Розрахуємо сподіваний рівень ризику (коефіцієнт ризику) на основі прогнозних даних за три .

Прогнозні дані виникнення втрат у виробничій діяльності підприємства

Рік діяльності	Частота виникнення (P%)				
	Безризико-ва область	Область мінімального ризику	Область підвищеного ризику	Область критичного ризику	Область недопустимого ризику
	$F_{\text{заг}}$	F_2	F_3	F_4	F_5
Перший	0,75	0,32 (42%)	0,33 (44%)	0,05 (7%)	0,05 (7%)
Другий	0,8	0,35 (45%)	0,2 (25%)	0,2 (25%)	0,05 (5%)
Третій	0,85	0,05 (5%)	0,17 (20%)	0,25 (30%)	0,38 (52%)

Загальна частота виникнення втрат $F_{\text{заг}}$ визначається як сума частот:
 перший рік діяльності: $F_{\text{заг } 1} = 0,32 + 0,33 + 0,05 + 0,05 = 0,75$;
 другий рік діяльності: $F_{\text{заг } 2} = 0,35 + 0,2 + 0,2 + 0,05 = 0,80$;
 третій рік діяльності: $F_{\text{заг } 3} = 0,05 + 0,17 + 0,25 + 0,38 = 0,85$.

Сподіване значення рівня ризику (Н) (коефіцієнта ризику) визначаємо згідно з формулою для обчислення математичного сподівання (2):

$$H = \sum_{i=1}^y H_i \cdot P_i, \quad (2)$$

де H_i – значення коефіцієнта ризику i -ї області;

P_i – ймовірність виникнення i -го результату коефіцієнта ризику, тобто ймовірність попадання можливих втрат в i -ту область.

В областях ризику коефіцієнт ризику набуває значення в інтервальному вигляді:

- область мінімального ризику – $0 \div 25\%$;
- область підвищеного ризику – $25 \div 50\%$;
- область критичного ризику – $50 \div 75\%$;
- область недопустимого ризику – $75 \div 100\%$.

Тому для розрахунку сподіваного значення рівня ризику для кожної з областей приймаємо середнє значення коефіцієнта ризику, а саме:

- область мінімального ризику – $12,5\%$;

область підвищеного ризику – 37,5%;
 область критичного ризику – 62,5%;
 область недопустимого ризику – 87,5%.

Тоді сподіване (середнє) значення коефіцієнта ризику підприємства дорівнюватиме:

для першого року діяльності

$$H_1 = 12,5 \cdot 0,32 + 37,5 \cdot 0,33 + 62,5 \cdot 0,05 + 87,5 \cdot 0,05 = 24\%;$$

для другого року діяльності

$$H_2 = 12,5 \cdot 0,35 + 37,5 \cdot 0,2 + 62,5 \cdot 0,2 + 87,5 \cdot 0,05 = 29\%;$$

для третього року діяльності

$$H_3 = 12,5 \cdot 0,05 + 37,5 \cdot 0,17 + 62,5 \cdot 0,25 + 87,5 \cdot 0,38 = 56\%$$

Визначаємо середньоквадратичне відхилення згідно з формулою (3.8):

$$\sigma_1^2 = (12,5 - 24)^2 \cdot 0,32 + (37,5 - 24)^2 \cdot 0,33 + (62,5 - 24)^2 \cdot 0,05 + (87,5 - 24)^2 \cdot 0,05 = 359$$

$$\sigma_1 = 19\%$$

$$\sigma_2^2 = (12,5 - 29)^2 \cdot 0,35 + (37,5 - 29)^2 \cdot 0,2 + (62,5 - 29)^2 \cdot 0,2 + (87,5 - 29)^2 \cdot 0,05 = 505$$

$$\sigma_2 = 22\%$$

$$\sigma_3^2 = (12,5 - 56)^2 \cdot 0,05 + (37,5 - 56)^2 \cdot 0,17 + (62,5 - 56)^2 \cdot 0,25 + (87,5 - 56)^2 \cdot 0,38 = 540$$

$$\sigma_3 = 23\%$$

Таким чином, середнє значення коефіцієнта ризику для першого року діяльності підприємства дорівнює 24% при середньоквадратичному відхиленні – 19%. Діяльність підприємства в першому році знаходиться в області мінімального ризику, але може коливатися від області мінімального в область підвищеного ризику: $H_1 = (24 \pm 19) \%$.

Відповідно $H_2 = (29 \pm 22) \%$, тобто в другому році діяльність підприємства знаходиться в області підвищеного ризику, але може переходити до області критичного ризику.

У третьому році $H_3 = (56 \pm 23) \%$, тобто – в області критичного ризику і може переходити в область недопустимого ризику.

Такий підхід до визначення для декількох років коефіцієнта ризику і відхилень його можливих значень дозволяє виявити тенденції зміни цього показника і таким чином встановити доцільність в цілому цього напрямку діяльності для підприємства або окремого підприємця.

Одне з найістотніших питань, яке виникає у зв'язку з дослідженням ризику, чи можна якимось чином, частково або повністю, запобігти виникненню ризикових подій чи хоча б суттєво пом'якшити їх наслідки? Ці питання розглядаються в такій галузі дослідження ризиків, як управління ризиками. При цьому, мабуть, найпоширенішим засобом зниження ризику вважається страхування.

При **страхуванні ризиків** доцільно дотримуватись такої схеми:

- визначити обсяг і структуру активів, яким загрожує ризик втрати або пошкодження,
- визначити ризик, якому можна запобігти за допомогою певних застережних заходів, обчислити витрати, які пов'язані з їх здійсненням,
- встановити, який вид страхування може дати кращий захист за менших витрат порівняно з витратами на застережні заходи,
- порівняти витрати на здійснення застережних заходів і страхування, зробити висновки відносно того, що є доречнішим - страхування чи реалізація застережних заходів.

Як засіб зниження ризику можуть розглядатися також положення контрактів, які підприємство укладає зі своїми діловими партнерами - постачальниками, споживачами, фінансовими установами тощо.

Ефективним засобом зниження ризику виступає принцип диверсифікації - і щодо номенклатури продукції (послуг), що виробляються підприємством, і щодо ринків збуту, і щодо постачальників сировини, матеріалів, комплектуючих, і щодо споживачів продукції (послуг), і щодо фінансових активів підприємства,

Прагнення підприємства досягти монопольної влади - також своєрідний спосіб, хоча це і не завжди усвідомлюється, як зниження ризику. Монополіст може певною мірою контролювати ринок і таким чином компенсувати або мінімізувати негативні наслідки невизначеності.

ВИСНОВОК

В даній роботі було здійснено розробку оптимізованої конструкції сушарки киплячого шару, для сушки гранул парацетамолу.

Розрахунки та креслення виконані згідно чинних стандартів, з використанням сучасних системних та інформаційних технологій.

Для підтвердження працездатності та надійності апарату, окрім розрахунків, було проведене моделювання навантажень в програмі SolidWorks.

Стримані моделі дозволяють імітувати реальний фізичний процес, тому можуть використовуватися для побудови.

Також, були проведенні розрахунки корпусу, днища, фланців та опор на міцність та стійкість, дані рекомендації з монтажу та експлуатації сушарки киплячого шару.

Було запропоновано стартап-проект, в якому було встановлено місце розробки на рику, попит та ризики підприємства даної інновації.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гинзбург А.С. Расчет и проектирование сушильных установок пищевой промышленности. - М.: Агропромиздат, 1985 - 336 с.
2. Державна фармакопея України. - Київ: Науково-експертний фармакопейний центр, 2003. -419 с.
3. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / МГУ - М.: «Химия», 1973 - 752 с. Библиогр.: с. 750 - 752.
4. Лащинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. Изд. 2-е / ЛЭТИ - Л.: «Машиностроение», 1970 — 653 с.
5. Лебедев П. Д. Расчет и проектирование сушильных установок. (Учеб, для высш, тех. учеб, заведений). М.-Л., Госэнергоиздат, 1962. - 320 с.
6. Никольский Б.Г. Справочник химика / Никольский Б.П. — Л.: «Химия», 1966 — 976 с. Библиогр.: с. 972 - 976.
7. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию / Г. С. Борисов, В. П. Брыков, Ю. И. Дыгнерский и др. Под ред. Ю. И. Дыгнерского, 2-е изд., перераб. и допол. М.:Химия,1991. -496 с.
8. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Изд. 5-е / М.: «Химия», 1968 - 852с. Библиогр.: с. 840 - 852.
9. Писаренко Г.С. Сопротивление материалов. Изд. 4-е, перераб. и доп. / Институт проблем прочности НАН Украины - Киев: Вища школа, 1979. - 704 с. Библиогр.: с. 690 - 704.
10. Промышленная технология лекарств:[Учебник. В 2-х т. Том 2/ В.И. Ч/ешов. VI. Ю. Чернов, Л. М. Хохлова и др.]; Под редакцией профессора В- И. Чуешова. - Х.: МТК-Книга; Издательство НФАУ, 2002.-716 с.
11. П лавила оформлення апаратурно-технологічних схем. Методичні вказівки до виконання графічної частини дипломної роботи освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр. 0902 «Інженерна механіка» спец.

7.090226 «Обладнання фармацевтичної і мікробіологічної промисловості» всіх форм навч. - К.: ІВЦ «Видавництво «Політехніка», 2006.

12. Сушильные аппараты и установки. Каталог. Цинтихимнефтемаш, Москва, 1988.

13. Технологічний промисловий регламент з виробництва таблеток «Парацетамол - Дарниця» ПрАТ «ФФ «Дарниця», 78 с.

14. АТК 24.218.06-90 Штуцера с фланцами стальными плоскими приварными с соединительным выступом. Конструкция и размеры.

15. ГОСТ 5632-88 Стали высоколегированные и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные.

16. ГОСТ 4640-93 Вата минеральная.

17. ГОСТ 380-94 Сталь углеродистая обыкновенного качества.

18. ГСТУ 34-204-88-002-98 Труби для теплових мереж з тепловою ізоляцією з пінополіуретану і захисною оболонкою з поліетилену.

Загальні технічні умови.

19. ГОСТ 1050-88 Прокат сортовой, калиброванный. Общие технические условия.

20. ГОСТ 12.0.003-74 Система стандартов безопасности труда.

21. ДБН В. 1.1-7-2002 Пожежна безпека об'єктів будівництва.

22. ДБН В.2.5-28-2006 Природне і штучне освітлення.

23. ДСП 3.3.6.042 - 99 Санітарні норми мікроклімату виробничих

ДОДАТОК А

Таблиця А.1

Значення $-\ln \frac{t_m - t_{m,поч}}{t_{суш.поч} - t_{m,поч}}$	Час нагрівання τ , хв
0	0
1,2	4,5
1,0	9,0
1,92	12
3,4	15,3
2,7	18
4,5	23,4
0,9	2,1
2,5	15
0,4	3
4,5	22,2

Таблиця А.2

Значення $\frac{U_m - U_{суш.поч}}{U_{m,поч} - U_{суш.поч}}$	Час нагрівання τ , хв
0	0
1,2	4,5
2,0	9,0
1,8	12
3,5	15,3
2,9	18
4,5	23,4
0,1	2,1
2,2	15
0,4	3
3,4	22,2

**ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИДАЛЕННЯ ЛЕГКИХ ДОМІШОК В
ЦУКРОВОПЕРЕРОБНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ**

Малінов М.О. , Ходунько О.В.

Національний технічний університет України "КПІ"

Факультет біотехнології і біотехніки

Malinov35@outlook.com

Щільність органічних домішок менше щільності суміші води з буряком, тому у буряковій суміші, що протікає по гідротранспортеру, вони розташовуються на поверхні води. Такі домішки називаються легкими, або плаваючими, і уловлюються в спеціальних пристроях - ботвопастках. Ботвопастки встановлюють на жолобі гідротранспортеру відкрито в спеціальному приміщенні, а також на естакаді.

Робочим органом ботвопасток є граблі, опущені у буряководяну суміш, які, рухаючись проти потоку буряководяної суміші, захоплюють легкі домішки.

Грабельні ботвопастки бувають двох типів - ланцюгові і рогаційні. Ланцюгові ботвопастки залежно від профілю каркаса, на якому розміщуються зірочки і ролики для ланцюгів з укріпленими на них гребінками грабель.

Обслуговування ланцюгової ботвопастки полягає в періодичному спостереженні за приводом, ланцюгами і граблями, а також у своєчасному видаленні уловлених домішок. Необхідно також стежити за тим, щоб в місці установки її не було заторів буряка. Регулюванням натяжної станції забезпечується рівномірне і постійне натягнення гілок тягового ланцюга. Для гарної роботи пастки велике значення має своєчасне видалення уловлених домішок з похилого лотка. У кожному окремому випадку необхідно підбирати оптимальний кут нахилу лотка до вертикалі і робити його не менш 55° , здійснювати механічне очищення або посилене змивання домішок водою з брызгалки.

Ботволопастка СБГ- 1060 призначена для роботи на цукрових заводах потужністю 6000 тонн буряка за добу. Для цукрових заводів потужністю 3000 і 4500 тонн буряка за добу застосовується така ж пастка, але зі зменшеним числом гребінок в ряду і зменшеною шириною жолоба.[1]

Ботвопастка працює таким чином: граблі, рухаючись в гідротранспортері назустріч потоку буряководяної суміші, зубами вловлюють пливучі домішки. При огинанні ланцюгом з граблями тягових зірочок граблі піднімаються вгору і під дією власної маси знаходяться весь час у вертикальному положенні.[2]

Література:

1. Технологическое оборудование свеклосахарных заводов / Азрилевич М.Я. ; под. ред. Москва, Агропромиздат, 1986. – (12-15с.)

2. Трушина Т.П. Основы микробиологии, физиологии и санитарии для общепита. – Ростов н/Д.: Феникс, 2000. – 384 с.

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ BFS У ФАРМАЦЕВТИЧНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

Малінов М.О., Ходунько О.В.

Національний технічний університет України «КПІ»

malinov35@outlook.com

Інфузійні розчини в пластикових флаконах – глобальний сучасний тренд у світовій фармацевтиці. До того ж, світовий досвід показує, що проблематика інфузійної терапії на сьогоднішній день, дуже актуальна. Власне тому, компанія "Дарниця" прийняла рішення про розвиток саме цього напрямку.

Технологія BFS (Blow-Feel-Seal) уперше була реалізована на фармацевтичному заводі у Мюнхені на початку 2013 року і, наразі, є найактуальнішою методикою, яка застосовується для виробництва інфузій. Вона передбачає створення флакону методом видування розплаву поліпропілену до охолодженої матриці, заповнення флакону інфузійним розчином та запаювання флакону за один цикл в асептичних умовах на одній виробничій машині. При цьому повний цикл створення флакону із його герметизацією виконується у короткий термін – не більше 12 секунд.

Фізико-хімічні властивості матеріалу флаконів для «інфузій» - поліпропілену - поєднують переваги пакетів (здатність колапсувати і легка вага) та флаконів (зручніше і безпечніше використання). Поліпропілен по своїй структурі прозорий, а отже і зручний для перевірки.

BFS -машини переважно застосовують у фармацевтичній промисловості, оскільки вони дозволяють випускати готові лікарські форми в контейнерах з різних матеріалів (поліетилену низької щільності, поліетилену високої щільності, поліпропілену). Це дає можливість фармацевтичній компанії "Дарниця" підбирати той чи інший матеріал в залежності від продукту, що випускається.

Крім фармацевтичних рідин, якими є в основному водні розчини, таку ж саму технологію можна застосовувати для упаковки паст, кремів, тиксотропних речовин, швидко осідаючих субстанцій, а також продуктів, чутливих до дії кисню та інших факторів.

Процес проходить автоматично. Перевагами застосування BFS-технології є:

- 1) BFS-машина займає менше місця;
- 2) Обслуговування потребує мінімальної кількості спеціалізованих техніків та операторів;
- 3) Достатньо розміщення установки у зоні з класом чистоти *D*;
- 4) Сама технологія забезпечує максимум захисту продукту від забруднень;
- 5) Технологія звільняє виробника від великої кількості фінансових витрат, пов'язаних із закупівлею, зберженням та обслуговуванням порожніх ємностей під розлив продукту.

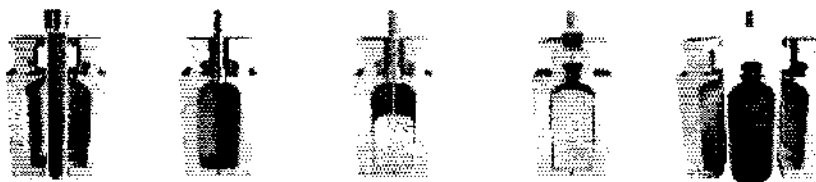


Рис.1 Технологічна схема виготовлення інфузій